



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní



STŘECHA OSOBNÍHO AUTOMOBILU Z KOMPOZITNÍHO MATERIÁLU

Diplomová práce

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T010 – Konstrukce strojů a zařízení
Autor práce: **Bc. Jaroslav Peča**
Vedoucí práce: Ing. Jan Novák, Ph.D.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jaroslav Peča**

Osobní číslo: **S15000023**

Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Konstrukce strojů a zařízení**

Název tématu: **STŘECHA OSOBNÍHO AUTOMOBILU
Z KOMPOZITNÍHO MATERIÁLU**

Zadávací katedra: **Katedra vozidel a motorů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Proveďte rešerši existujících řešení střech osobních a sportovních vozů.
2. Navrhněte základní koncepty možné střechy z odlehčeného kompozitního materiálu s vysokou pevností a proveďte vyhodnocení z hlediska funkcionality, přínosu pro uživatele, využitelnosti u daných typů vozidel.
3. Vyberte koncept střechy pro další řešení. Zpracujte základní pevnostní výpočty, navrhněte způsoby připojení kompozitní střechy k ostatním částem vozidla.
4. Vpracujte základní CAD model vybrané části střechy. Zpracujte dokumentaci vybraných dílů. U vybraného dílu proveďte základní pevnostní výpočty.
5. Porovnejte navržené řešení se střechou klasické konstrukce.

Rozsah grafických prací: dokumentace vybraného řešení

Rozsah pracovní zprávy: cca 50 stran + CD

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. PEŠÍK, L.: *Části strojů. 1. díl.* Liberec, TU 2005. ISBN 80-7083-938-4.
2. PEŠÍK, L.: *Části strojů. 2. díl.* Liberec, TU 2005. ISBN 80-7083-939-2.
3. VLK, F.: *Karoserie motorových vozidel.* Nakladatelství a vydavatelství Vlk, Brno, 2000.
4. BRADSKÝ, Z - VRZALA, R.: *Mechanika III. /Dynamika/,* VŠST, Liberec 1990.
5. KEJVAL, Z.: *Technologie celokovové karoserie.* Praha: SNTL, 1954.
6. KEJVAL, Z.: *Technologie karoserie.* Praha: ČVUT, 1970.
7. VLK, F.: *Stavba motorových vozidel.* Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-238-8757-2.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Novák, Ph.D.

Katedra vozidel a motorů

Datum zadání diplomové práce: 1. března 2017

Termín odevzdání diplomové práce: 1. června 2018

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan



Ing. Robert Voženílek, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. března 2017

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Anotace

Diplomová práce se zabývá návrhem střechy osobního automobilu z kompozitního materiálu. V teoretické části jsou představeny kompozity jako konstrukční materiál. Dále je proveden rozbor konstrukcí karoserií používaných u osobních automobilů a možností provedení střešních částí. Rešeršní část je zakončena pojednáním o kompozitu s výztuží z uhlíkového vlákna. Cílem praktické části je návrh kompozitové střešní konstrukce pro osobní automobil, zhodnocení jejího zavedení do sériové výroby. Na konec jsou zhodnoceny přínosy a negativa nové konstrukce pro konečného uživatele.

Klíčová slova

střecha, automobil, kompozit, uhlíkové vlákno

Annotation

This Master thesis deals with design of the roof car made of composite material. In the theoretical part are presented composite as construction material. Then there are analyzed body construction used in car and there are describe roof part construction. The theoretical part is completed with composite from carbon fiber. The aim of the practical part is designed composite roof structure for car and its evaluation for series production. In the finish there are analyzed benefits and negatives new construction for costumers.

Key words

roof, car, composite, carbon fiber

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Novákovi, Ph.D. za odborné vedení a pomoc při zpracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat všem pedagogům a ostatním lidem, kteří mi pomohli při tvorbě diplomové práce.

V neposlední řadě bych rád poděkoval svým rodičům, kteří mě během celého studia neustále podporovali. Také bych chtěl poděkovat všem svým přátelům za podporu během této části života.

Seznam veličin a jejich jednotek

ρ_v	hustota vláken	[g/cm ³]
ρ_p	hustota pryskyřice	[g/cm ³]
ρ_t	hustota tužidla	[g/cm ³]
ρ_m	hustota matrice	[g/cm ³]
ρ_k	hustota kompozitu	[g/cm ³]
C _{celk}	celkové náklady na materiál	[Kč]
C _{1p}	cena pěny 20 mm za 1 m ²	[Kč]
C _L	cena lepidla	[Kč]
C _{m1}	cena matrice za 1 kg	[Kč]
C _p	cena pěny	[Kč]
C _{pv}	cena tkaniny pro podélníky	[Kč]
C _{sm}	cena matrice na střešní panel	[Kč]
C _{sv}	cena tkaniny na střešní panel	[Kč]
C _{v1}	cena tkaniny za 1 m ²	[Kč]
l _k	kritická délka	[mm]
m _L	odhadnuté množství lepidla	[g]
m _{pm}	hmotnost matrice pro podélníky	[g]
m _{pv}	hmotnost tkaniny pro podélníky	[g]
m _{sm}	hmotnost matrice pro střešní panel	[g]
m _{sv}	hmotnost tkaniny pro střešní panel	[g]
M _m	hmotnostní podíl matrice v kompozitu	[-]
M _p	hmotnostní podíl pryskyřice v matrici	[-]

M_t	hmotnostní podíl tužidla v matrici	[-]
M_v	hmotnostní podíl vláken v kompozitu	[-]
S_{1s}	celková plocha pro 1 vrstvu střechy	[m ²]
S_{1sp}	plocha pro 1 vrstvu spodní část u podélníků	[m ²]
S_{1ss}	plocha pro 1 vrstvu spodní část u střechy	[m ²]
S_{1vp}	plocha pro 1 vrstvu vrchní část u podélníků	[m ²]
S_{1vs}	plocha pro 1 vrstvu vrchní část u střechy	[m ²]
S_{4p}	celková plocha tkaniny pro 4 vrstvy u podél.	[m ²]
S_{4s}	celková plocha tkaniny pro 4 vrstvy u střechy	[m ²]
v_v	objemový podíl vláken v kompozitu	[-]
v_m	objemový podíl matrice v kompozitu	[-]
V_p	celkový objem pěny	[m ³]
V_{pp}	naměřený objem pěny pro dva podélníky	[m ³]
V_{ps}	naměřený objem pro střešní panel	[m ³]

Seznam tabulek

Tabulka 1 Průměrné vlastnosti uhlíkového vlákna [57]	38
Tabulka 2 Vlastnosti vybraných matric [57]	41
Tabulka 3 Průměrné fyzikální vlastnosti CFRP [57], [74]	41
Tabulka 4 Cena uhlíkové tkaniny [71]	43
Tabulka 11 Vlastnosti lepeného spoje	52
Tabulka 5 Vlastnosti zvolené uhlíkové tkaniny [74]	53
Tabulka 6 Vlastnosti zvolené matrice [74]	53
Tabulka 7 Vlastnosti zvoleného tužidla [74]	54
Tabulka 8 Množství tkaniny a matrici a jejího složení dle počtu vrstev	55
Tabulka 9 Parametry pevnostní pěny [74]	57
Tabulka 10 Poměrná cena jednotlivých materiálů	59

Seznam obrázků

Obrázek 1 Porovnání pevností materiálů [20]	15
Obrázek 2 Porovnání tuhostí materiálů [20]	15
Obrázek 3 Synergický efekt [3]	16
Obrázek 4 Způsoby vytváření kompozitů [1]	18
Obrázek 5 Mikrosnímek struktury dřeva [7]	20
Obrázek 6 Kovová pěna polotvar, výztuha prahů Ferrari ALULIGHT [11], [12]	20
Obrázek 7 Čistý vzorek aerogelu [15]	21
Obrázek 8 Diagram tuhost/hustota	21
Obrázek 9 Lano, vláknový kompozit [7]	22
Obrázek 10 Princip vytrhávací zkoušky [9]	23
Obrázek 11 Schéma tudoru, příklad Škoda Octavia 985 [22], [26]	24
Obrázek 12 Schéma sedanu, příklad VW Passat [22], [27]	24
Obrázek 13 Schéma hatchbacku, příklad Škoda Fabia [22], [28]	25
Obrázek 14 Schéma liftbacku, příklad Škoda Octavia [22], [29]	25
Obrázek 15 Schéma kombi, příklad Škoda Octavia Combi [22], [30]	25
Obrázek 16 Schéma SUV, příklad Mazda CX-5 [22], [31]	26
Obrázek 17 Schéma kupé, příklad Nissan 370Z [22], [32]	26
Obrázek 18 Schéma limuzíny, příklad Rolls Royce Phantom [22], [33]	26

Obrázek 19 Schéma pullmanu, příklad Lincoln TC120 [22], [34].....	26
Obrázek 20 Schéma mikrobusu, příklad VW Sharan [22], [35]	27
Obrázek 21 Schéma offroadu, příklad Jeep Wrangler [22], [36]	27
Obrázek 22 Schéma Gran Turismo, příklad Alfa Romeo Brera [22], [37]	27
Obrázek 23 Schéma pickupu, příklad Škoda Felicia Pickup [22], [38]	28
Obrázek 24 Schéma kabrioletu, příklad VW Eos [22], [39]	28
Obrázek 25 Příklady polokabrioletu Citroën 2CV, Fiat 500C Abarth [40], [41].....	28
Obrázek 26 Příklady roadsteru kabrioletu Audi TT roadster [42], [43]	29
Obrázek 27 Schéma targa, příklad Porsche 911 Targa [22], [44]	29
Obrázek 28 Schéma landauletu, příklad Lexus LS600h L Landaulet [22], [45].....	29
Obrázek 29 Schéma spideru příklad AC Ace [22], [46]	30
Obrázek 30 Příklad featonu Škoda L & K 120 [47]	30
Obrázek 31 Schémata a příklady střešního okna [48]	31
Obrázek 32 Skladba panoramatické střechy [51]	32
Obrázek 33 Ukázky skládání střechy Porsche, Honda [53], [54].....	33
Obrázek 34 Skládání střechy Ferrari 575M Superamerica [55]	34
Obrázek 35 Průběh změn struktury uhlíkového vlákna při zpracování [62].....	37
Obrázek 36 Chemické vazby uhlíkového vlákna při zpracování [62]	37
Obrázek 37 Druhy vazeb uhlíkové tkaniny – plátňová, keprová, atlasová [66], [67]..	38
Obrázek 38 Únavové chování kompozitů a oceli [61]	42
Obrázek 39 Únavové chování uhlíkového kompozitu [74].....	42
Obrázek 40 První návrh konstrukce	44
Obrázek 41 Druhý návrh konstrukce.....	45
Obrázek 42 Třetí návrh konstrukce	45
Obrázek 43 Navržený střešní panel	46
Obrázek 44 Sendvičová konstrukce panelu.....	47
Obrázek 45 Plocha pro přilepení čelního okna.....	47
Obrázek 46 Plocha pro montáž víka zavazadlového prostoru.....	48
Obrázek 47 Podélník vrchní levý a jeho profil.....	48
Obrázek 48 Podélník spodní levý a jeho profil	49
Obrázek 49 Jádru podélníku a jeho profil	49
Obrázek 50 Lišta levá a její profil	49
Obrázek 51 Vnitřní postranice a její profil.....	50

Obrázek 52 Část vnější postranice a její profil.....	50
Obrázek 53 Celá sestava včetně postranic.....	51
Obrázek 54 Sestava střechy v modelovém automobilu.....	51
Obrázek 55 Ukázka lepeného spoje	52
Obrázek 56 Směr vrstev použitého kompozitu	56
Obrázek 57 Pevnostní pěna Airex C70 [74].....	57
Obrázek 58 Formovací směr pro střešní panel	61
Obrázek 59 Draftová analýza vrchní vrstvy	61
Obrázek 60 Draftová analýza spodní vrstvy	61

Obsah

Seznam veličin a jejich jednotek	7
Seznam tabulek.....	9
Seznam obrázků.....	9
Úvod	14
1 Kompozit.....	15
1.1 Konstrukční materiály	15
1.2 Kompozitní materiál	15
1.3 Rozdělení	17
2 Rozdělení karoserií osobních automobilů.....	24
2.1 Uzavřená karoserie	24
2.2 Měnitelná karoserie	28
2.3 Otevřená karoserie	29
3 Rozdělení střešní konstrukce osobních automobilů.....	31
3.1 Otevíratelné střešní okno	31
3.2 Panoramatická střecha	31
3.3 Snímatelný střešní panel (targa)	32
4 Uhlíkový kompozit	35
4.1 Charakteristika materiálu.....	35
4.2 Výroba	35
4.3 Další vlastnosti.....	41
4.3.1 Fyzikální vlastnosti	41
4.3.2 Chemické vlastnosti	41
4.3.3 Technologické vlastnosti	41
4.3.4 Únavové charakteristiky	42
4.4 Likvidace CFRP.....	42
4.5 Cena uhlíkových vláken	43

5	Návrh řešení	44
5.1	Možná řešení.....	44
5.2	Podrobnější konstrukce.....	45
5.2.1	Střešní panel.....	46
5.2.2	Podélníky	48
5.2.3	Další části.....	49
5.2.4	Změna původních dílů	50
5.2.5	Celá sestava.....	51
5.3	Spojení částí modelu.....	51
5.4	Použitý materiál	53
5.5	Náklady na materiál.....	57
5.6	Forma.....	59
5.7	Vliv na výrobní proces.....	61
5.7.1	Montážní linka	61
5.7.2	Spojení navrženého dílu se současnou konstrukcí.....	62
5.7.3	Lakování	62
5.7.4	Montáž interiéru.....	62
5.8	Ekonomické zhodnocení.....	62
5.9	Vliv na praktické používání.....	63
5.9.1	Rosení a kondenzace.....	63
5.9.2	Poškození povětrnostními vlivy.....	63
5.9.3	Změny teplot	63
5.9.4	Odhlučnění.....	64
5.9.5	Vibrace karoserie	64
6	Závěr	65
	Seznam použité literatury	66
	Seznam příloh.....	73

Úvod

V dnešní době jsou automobily konstruovány s ohledem na maximální bezpečnost, kvalitu provedení a nejlepší možnou výbavu, ať už z hlediska komfortu posádky či nových technologií použitých při výrobě automobilu. Jedním směrem, kterým se výrobci automobilů ubírají, je aplikace vysokopevnostních materiálů. Někteří výrobci se ubírají cestou hlubokotažných ocelí, či konstrukcí z hliníku. Další možností, která dnes nachází stále větší uplatnění, je použití kompozitních materiálů. Jsou to materiály, které kombinují několik základních složek k dosažení co nejlepších výsledných vlastností. Prvním odvětvím, ve kterém se začaly kompozity prosazovat, byla kosmonautika. Z této oblasti se přes oblast klasického letectví dostaly kompozity až do automobilového průmyslu. Nejdříve to bylo u závodní speciálů a supersportovních vozů. A v současné době se používají jako menší doplňky, či větší montážní celky karoserie. O kvalitě těchto materiálů svědčí fakt, že nejlepší supersportovní automobily mají tzv. monokok, který chrání posádku, tvořen výhradně z kompozitních materiálů.

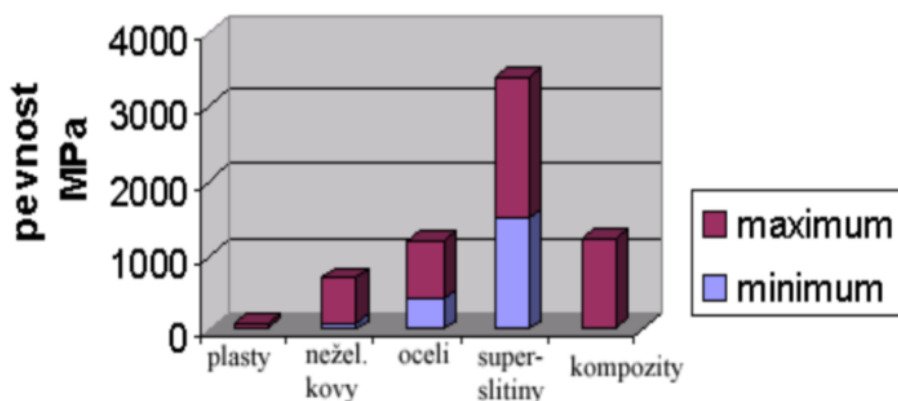
Největší naděje do budoucnosti se v kompozitních materiálech vkládají do uhlíkového vlákna kombinovaného s vhodným pojivem. S tímto materiálem přichází na řadu změna výrobního procesu. U výroby z kovových materiálů je nejvíce části spojováno pomocí svařování. V případě aplikace materiálů z kompozitů se přejde na spoje lepené. Vývoj lepidel umožňuje dosáhnout takových vlastností, které zaručí spoj kvalitou odpovídající svaru.

Cílem této práce je konstrukční návrh střechy osobního automobilu. Samotný návrh se skládá z výběru dílů, u kterých bude konvenční materiál nahrazen kompozitem, dále změny tvaru těchto dílů pro nejlepší využití potenciálu materiálu. Zároveň bude brán ohled na minimální narušení klasické výrobní linky a výrobních postupů a zachování dílů klasické konstrukce. Pro modelovou konstrukci bude vybrána nejvhodnější metoda výroby, skladba materiálu a poté provedena analýza ekonomické nákladnosti na nový produkt.

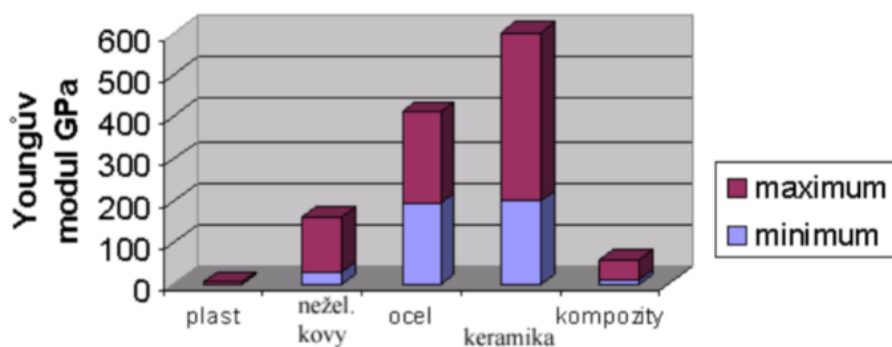
1 Kompozit

1.1 Konstrukční materiály

Konstrukční materiály se podle svého složení dají rozdělit do tří skupin. První skupinou jsou jednokomponentní materiály. Jedná se o spojitě vytvořené materiály, které mohou být tvořeny z jedné i více fází. Druhou možností jsou materiály, které jsou složeny z více různých materiálů a označují se jako složené materiály. Kombinace složek se provádí z funkčních nebo ekonomických důvodů. Poslední skupinou jsou tzv. kombinované materiály. Tyto materiály mají více složek zejména z důvodu výhodných vlastností každého dílčího materiálu. Do této skupiny se mimo jiné řadí kompozity.



Obrázek 1 Porovnání pevností materiálů [20]



Obrázek 2 Porovnání tuhostí materiálů [20]

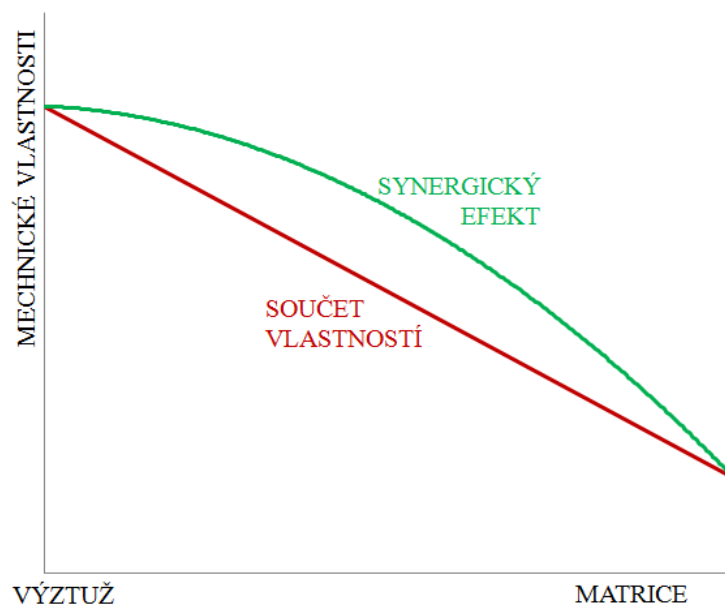
1.2 Kompozitní materiál

Kompozit neboli kompozitní materiál je materiálový systém složený z více fází, u něhož lze makroskopicky rozeznat rozhraní mezi těmito fázemi. Alespoň jedna z fází je pevná. Tyto fáze označují pojmy výztuž a matrice. Výztuží se označuje tvrdší, tužší a pevnější

nespojité fáze. Její mechanické vlastnosti bývají řádově lepší než u matrice. Matricí se rozumí spojitá fáze, která plní funkci pojiva výztuže. Jako výztuže se nejčastěji používají vlákna nebo částice a matricí bývá obvykle pryskyřice nebo kov. [1], [2]

Aby bylo možné vícefázový materiál zařadit mezi kompozity, musí být splněna následující podmínka, že mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti výztuže a matrice se musí lišit a výsledný produkt musí být připraven smícháním složek. S ohledem na tyto podmínky za kompozity nelze označit plasty, byť obsahují malé množství tuhých částic, ani slitiny kovů s vyloučenou tvrdou fází během tuhnutí či tepelného zpracování. Naopak nejznámějším přírodním kompozitem je dřevo. [1], [5]

Nejdůležitější vlastností pro kompozitu je tzv. synergický efekt. Jedná se o účinek složení více materiálu, při kterém je u výsledného materiálu dosaženo lepších vlastností než je pouhý poměrný součet vlastností původních složek, viz **Obrázek 3**. Tento efekt lze naznačit na kompozitu grafického vlákna a hliníkové slitiny. Grafitové vlákno má velmi dobré mechanické vlastnosti, ale sklon k oxidaci, naopak hliník neoxiduje, ale jeho pevnost s teplotou rychle klesá. Výsledný kompozit z těchto dvou materiálů má vysokou pevnost při vyšší teplotě a je odolný proti oxidaci. [1], [3], [4], [5]



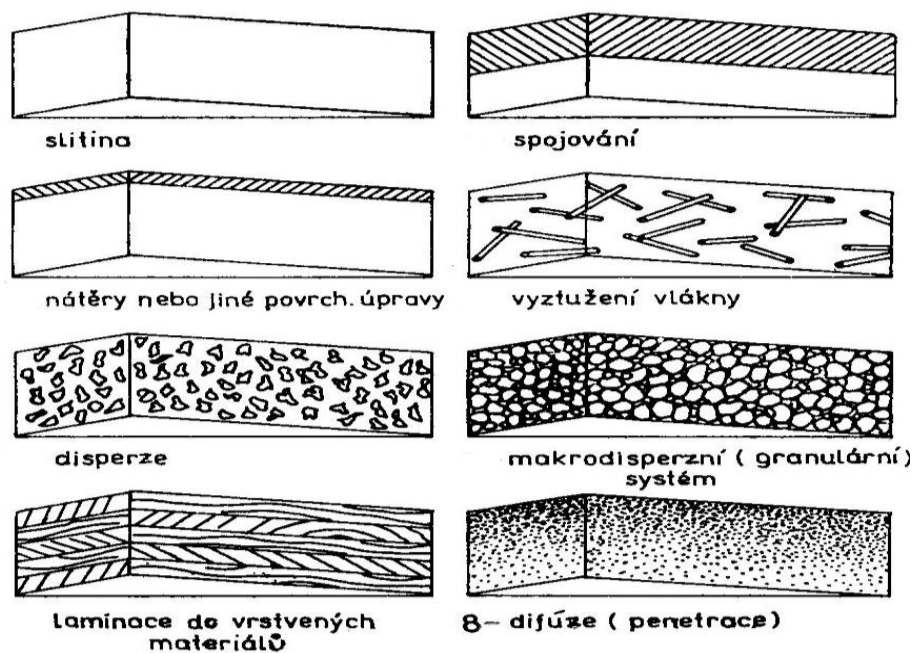
Obrázek 3 Synergický efekt [3]

1.3 Rozdělení

Kompozity prvního druhu

Kompozity lze rozdělit na tři velké skupiny podle skupenství výztuže. Skupina označovaná jako kompozity prvního druhu má výztuž tvořenou pevnou fází. Kompozity prvního druhu jsou nejrozšířenější, spadají sem téměř všechny obvyklé kompozitní materiály. Tyto kompozity je možné dále dělit podle způsobu a materiálu, jímž jsou tvořeny.

- | | |
|--------------------------|---|
| Podle materiálu matrice: | <ul style="list-style-type: none">- s kovovou maticí – MMC- s polymerní maticí – PMC- s keramickou maticí – CMC- s anorganickou maticí (sířany, silikáty)- s kombinovanou maticí, speciální typy |
| Podle struktury výztuže | <ul style="list-style-type: none">- disperzní (disperzní zpevněné kovy)- částicové (pravidelných a nepravidelných tvarů)- deskové- vláknové |
| Podle způsobu vytvoření | <ul style="list-style-type: none">- slitiny- spojování- vyztužení vlákny- disperze- makrodisperze (granule)- laminace do vrstvených materiálů- difúze- nátěry a jiné povrchové úpravy [1], [6] |



Obrázek 4 Způsoby vytváření kompozitů [1]

Kompozity s kovovou maticí se označují zkratkou MMC (Metal Matrix Composite). Výhody MMC kompozity oproti kovům jsou jejich vyšší specifická pevnost, vyšší specifická tuhost, lepší únavové vlastnosti a vlastnosti při vysokých teplotách. Další výhody tkví v nižší teplotní roztažnosti a vyšší otěruvzdornosti. Nejpoužívanějšími materiály této skupiny jsou karbid křemíku a oxid hlinitý. [16]

PMC (Polymer Matrix Composite) jsou kompozity s polymerní maticí. Oproti klasickému polymeru může mít polymerový kompozit až 3krát vyšší tuhost a dvojnásobnou mez pružnosti. Houževnatost je dána vzdáleností mezi částicemi, čím jsou blíže sebe, tím je vyšší. Pro matici mohou být použity reaktoplasty, termoplasty i elastomery. Reaktoplast vyztužený skleněnými vlákny, tzv. sklolaminát, je jedním z nejstarších kompozitů, jeho první patent je z roku 1916. Reaktoplasty pro matici jsou epoxid, polyester, výztuže může být z uhlíkových nebo aramidových vláken či tkanin. V případě termoplastické matrice se používají polyamid, polyetylen či polypropylen. Vláknem bývají ze skla, uhlíku nebo aramidu. Na pásy či řemeny se používají elastomerové matrice v kombinaci s přírodními vlákny, jako jsou juta a sisal. [17], [18]

Dalším druhem jsou kompozity s keramickou maticí (CMC = Ceramic Matrix Composite). Jejich hlavní předností je zvýšená houževnatost, získání podobné pevnosti v tahu a tlaku a zlepšení obrobitelnosti. Kompozitů založených na keramické matici je více druhů.

Jsou založeny buď na částicové, nebo vláknové výztuži. Matrice bývá z oxidu hlinitého a oxidu zirkoničitého, částice a vlákna z karbidu křemíku. Tyto kompozity se mohou vyrábět například namáčením keramiky do roztaveného kovu.

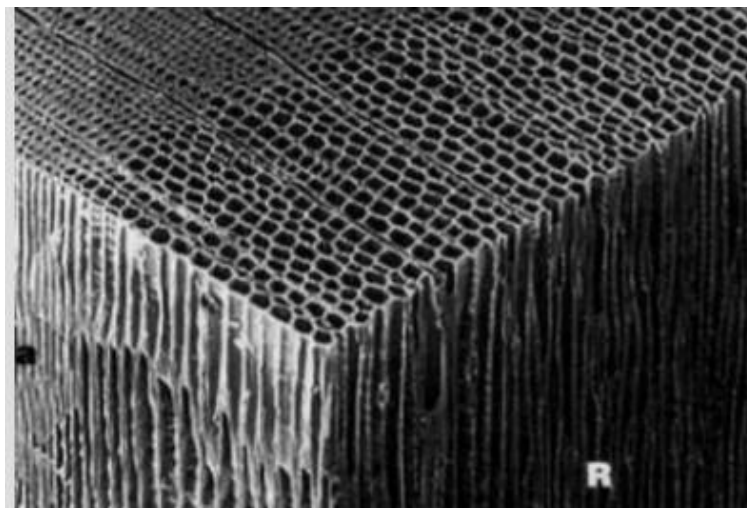
S ohledem na vypracování této práce jsou důležitou skupinou vláknové kompozity. Výztuž těchto kompozitů je ve formě vláken. Vlákna jsou typická tím, že mají mnohonásobně větší délkový rozměr než příčný a mají minimální ohybovou pevnost. Vlákna se dají rozdělit podle tzv. kritické délky. Prvním druhem jsou dlouhá vlákna. Tato vlákna mají délku větší než je jejich kritická délka, to znamená, že vlákna se při lomu přetrhnou. Takto jsou obvykle konstruována vlákna skleněná, polymerní a uhlíková. Opačným případem jsou krátká vlákna, která se při lomu vytáhnou z matrice. Bývají to např. vlákna azbestová nebo wolframová. Posledním typem jsou spojitá vlákna. Jsou to velmi dlouhá vlákna, která nejsou uvnitř kompozitu přerušena. [9]

Dalším možné dělení je dle průměru, a to na následující skupiny:

- nanovlákna – průměr do 100 nm
- mikrovlákna – průměr 0,1 až 1 μm
- střední vlákna – průměr 1 až 10 μm – uhlíková, skleněná
- hrubá vlákna – průměr nad 10 μm – keramická

Kompozity druhého druhu

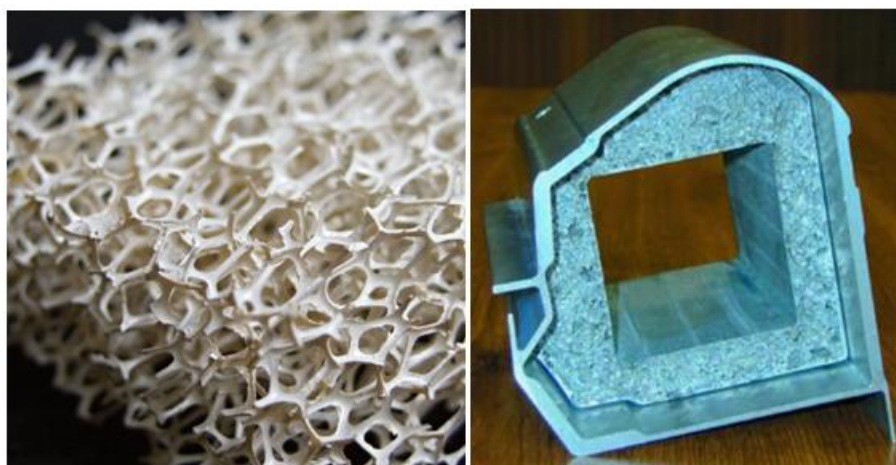
Kompozity, jejichž výztuž je v kapalně fázi, se označují jako kompozity druhého druhu. Do této skupiny se řadí poměrně malá skupina kompozitů pro speciální použití. Jsou to například materiály pro samomazná ložiska pro velké namáhání, kde kapalina napomáhá tribologickým vlastnostem nebo speciální aplikace pro ložiska pracující pod vodou. Častěji se ovšem vyskytují kompozity druhého druhu přírodního původu. Jedná se zejména o dřevo, které je tvořeno trubicemi naplněnými mizou, viz **Obrázek 5**, nebo skořápky mořských živočichů. [6], [7]



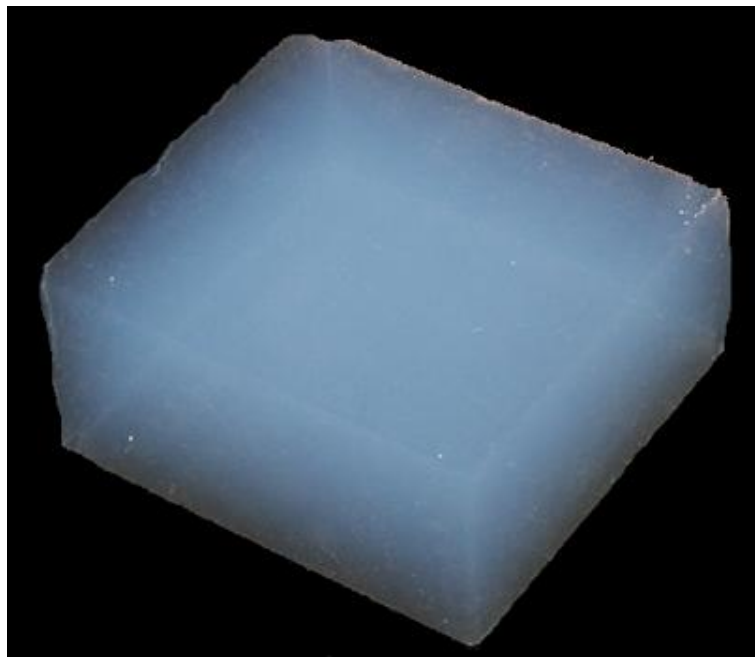
Obrázek 5 Mikrosnímek struktury dřeva [7]

Kompozity třetího druhu

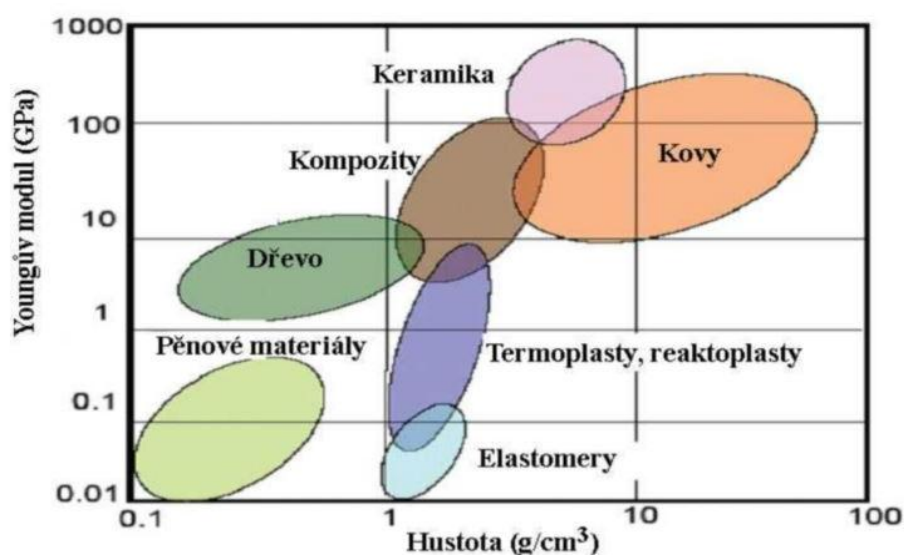
Poslední velkou skupinou kompozitních materiálů jsou ty, u nichž je výztuž v plynné fázi neboli kompozity třetího druhu. Výrobky z tohoto typu kompozitů jsou zejména pěnové hmoty, buď v kombinaci s plastem jako pěnový polystyren, s kovem jako kovová pěna, nebo s keramickou maticí v podobě pěnokeramiky. Hlavní výhodou těchto materiálů je nižší hmotnost při zachování dostatečné pevnosti a tuhosti, zvýšení tažnosti a získání dalších specifických vlastností. Speciální látkou řadící se do této skupiny je tzv. aerogel. Aerogel se skládá z 95 % vzduchu a zbytek je tvořen obvykle oxidem křemičitým. Jedná se pevnou látku s nejnižší tepelnou vodivostí, extrémně nízkou hustotou a výbornými mechanickými vlastnostmi. Díky svým kvalitám se nejvíce používá jako tepelná izolace i u vozidla na Marsu. [7], [11]



Obrázek 6 Kovová pěna polotvar, výztuha prahů Ferrari ALULIGHT [11], [12]



Obrázek 7 Čistý vzorek aerogelu [15]

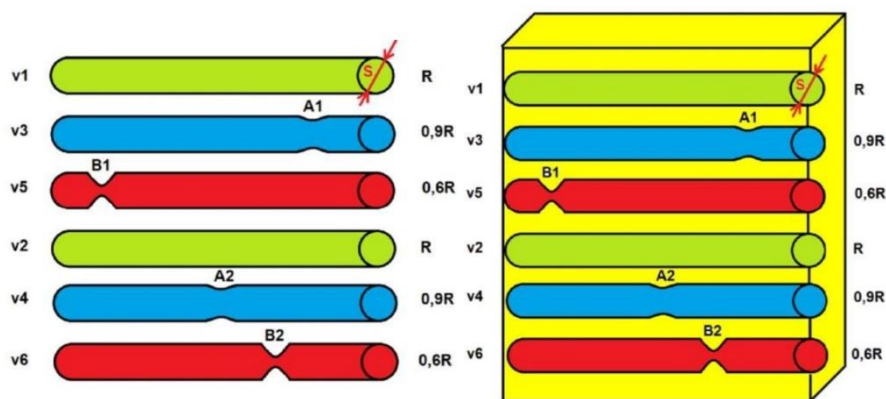


Obrázek 8 Diagram tuhost/hustota

Specifickou vlastností kompozitů je anizotropie. Tato vlastnost označuje závislost veličiny na volbě směru. Jednoduše řečeno jsou vlastnosti v různých směrech různé. Velikost anizotropie závisí na skladbě materiálu, ale obecně se dá říci, že kompozity jsou silně anizotropní. [10]

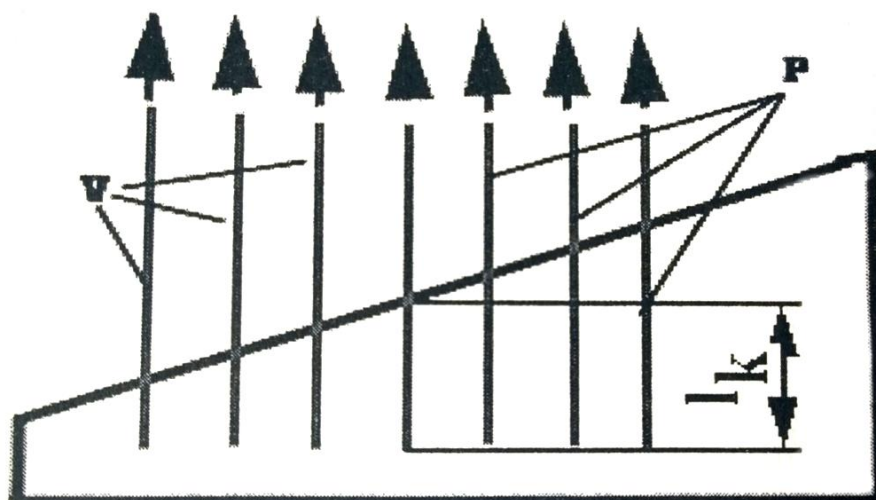
Na příkladu porovnání lana a vláknového kompozitu lze ukázat několik výhod tohoto materiálu. Pro oba případy je lano tvořeno ze šesti vláken, která mají v různých délkách

oslabený průřez, viz **Obrázek 9**. V případě zatížení celého lana statickou silou dojde nejprve k přetržení v nejslabších místech, tj. B1 a B2, a dále přenesení napětí z porušených vláken na zbylá, dvě nejslabší opět prasknou a stejným systémem i k přetržení posledních dvou vláken. V případě kompozitu, který je tvořen také ze šesti vláken a navíc matrice. Při stejném namáhání dojde k přerušení vláken v průřezech "B1" a "B2", ale další vlákna se nepřetrhnou. Je to způsobeno matricí, která po přetržení vlákna přenáší zatížení z jednoho konce na druhý a vlákno je dále v činnosti. Pevnost obyčejného lana je rovna pevnosti jeho nejslabšího vlákna. U kompozitu je vyšší celková pevnost i průměrná pevnost všech vláken. [7]



Obrázek 9 Lano, vláknový kompozit [7]

Velmi důležitým parametrem u vláknových kompozitů je kritická délka. Je to porovnání pevnosti vlákna a schopnosti matrice vlákno udržet. Vychází se z předpokladu, že vlákno je upevněno jedním koncem v matrici a za druhý konec je vytahováno. Mohou nastat dvě situace, buď se vlákno přetrhne, nebo vytáhne z matrice. První případ nastane, pokud je smykové napětí mezi matricí a vláknem vyšší než pevnost vlákna. Vytaženo je vlákno, když je poměr právě opačný. Kritická délka vlákna je taková délka uchycení vlákna v matrici, při níž je stejná pravděpodobnost, že dojde k přetržení i vytažení vlákna. Pokud je délka uchycení větší než kritická délka, tak dojde k přetržení vlákna, v druhé situaci k vytažení. Zjištění kritické délky se provádí tzv. vytrhávací zkouškou. Do matrice je zalita řada vláken s postupně zvětšující se hloubkou zalití, dle **Obrázek 10**. Všechna vlákna jsou stejně zatížena, nejméně zalitá vlákna se vytáhnou (ozn. "v"), nejvíce přetrhnou (ozn. p), mezi nimi je vlákno s kritickou délkou. [8], [9]



Obrázek 10 Princip vytrhávací zkoušky [9]

2 Rozdělení karoserií osobních automobilů

Osobní automobily se dají rozdělit podle mnoha kritérií. Pro práci tohoto zaměření je nejdůležitějším hlediskem konstrukce karoserie. Karoserie se dají rozdělit do tří velkých skupin podle celistvosti karoserie, a to na uzavřenou, otevřenou a měnitelnou karoserii.

2.1 Uzavřená karoserie

Tudor – Jedná se o uzavřenou karoserii se stupňovitou zádí, dvojími dveřmi, dvěma řadami sedadel pro 2 až 3 cestující. V současné době se toto označení používá minimálně a místo něj se spíše používá nesprávné označení kupé. Příkladem tudoru je Škoda Octavia (typ 985).



Obrázek 11 Schéma tudoru, příklad Škoda Octavia 985 [22], [26]

Sedan – Jedná se o uzavřenou karoserii se stupňovitou zádí, čtyřmi dveřmi, dvěma řadami sedadel pro 2 až 3 cestující, oddělený zavazadlový prostor. Tento druh karoserie je jedním z nejrozšířenějších. Zástupci této kategorie jsou Volkswagen Passat či Mercedes třídy C.



Obrázek 12 Schéma sedanu, příklad VW Passat [22], [27]

Hatchback – Uzavřená karoserii se šikmou zádí, třemi až pěti dveřmi z nichž jsou jedny v zadní stěně. V interiéru jsou dvě řady sedadel pro 2 až 3 cestující. Závěsy víka zavazadlového prostoru jsou umístěny u střechy. Tato karoserie se nejvíce vyskytuje u menších automobilů. Mezi zástupce patří např. Škoda Fabia a Volkswagen Golf.



Obrázek 13 Schéma hatchbacku, příklad Škoda Fabia [22], [28]

Liftback – Jedná se o uzavřenou karoserii se stupňovitou zádí, čtyřmi dveřmi, dvěma řadami sedadel pro 2 až 3 cestující. Víko zavazadlového prostoru se otevírá spolu se zadním oknem a jeho závěsy jsou u střechy vozidla. Tato karoserie je velmi podobná sedanu, ale oproti němu má lepší přístup do zavazadlového prostoru. U nás je nejznámějším liftbackem Škoda Octavia a dále třeba Ford Mondeo.



Obrázek 14 Schéma liftbacku, příklad Škoda Octavia [22], [29]

Kombi – Uzavřenou karoserii pro přepravu osob a menších nákladů ve společném prostoru za sedadly. Opěradla zadních sedadel jsou sklopná či celá sedadla vyjímatelná. Zavazadlový je přístupný dveřmi v zádí, zadní stěna bývá mírně šikmá nebo kolmá. Ve střední Evropě je tento druh karoserie velmi oblíbený, vyrábí se odvozené varianty ze základních sedanů či hatchbacků. Zástupcem je Škoda Octavia Combi nebo Volkswagen Golf Variant.



Obrázek 15 Schéma kombi, příklad Škoda Octavia Combi [22], [30]

Automobil pro volný čas (SUV) – Sportovní užitkový automobil pro volný čas. Jejich konstrukce je podobná hatchbacku, avšak má jistá specifika, jako je zvýšený podvozek či ochranné kryty karoserie. Tyto automobily v současné době vstupují ve velkou oblibu.

Zejména kvůli jejich vyšší stavbě, robustnějšímu vzhledu a větší praktičnosti. Příkladem je Škoda Yeti nebo Mazda CX-5.



Obrázek 16 Schéma SUV, příklad Mazda CX-5 [22], [31]

Kupé – Automobil s uzavřenou karosérií se stupňovitou zádí, dvěma dveřmi, jednou řadou sedadel pro 2 až 3 cestující. Má velký zavazadlový prostor či nouzová sedadla v druhé řadě. Tato konstrukce přísluší automobilům sportovního ražení.



Obrázek 17 Schéma kupé, příklad Nissan 370Z [22], [32]

Limuzína – jedná se o uzavřenou karosérií se stupňovitou zádí, čtyřmi dveřmi, vhodným uspořádáním sedadel, přepážkou za přední řadou sedadel.



Obrázek 18 Schéma limuzíny, příklad Rolls Royce Phantom [22], [33]

Pullman – Podobná karosérie jako je limuzína. Rozdíl pouze v prodloužené karosérii mezi dveřmi. Výbava těchto automobilů je maximálně luxusní. Tyto luxusní automobily jsou vyráběny s velkou možností přizpůsobení. Nejznámějším výrobcem je Lincoln.



Obrázek 19 Schéma pullmanu, příklad Lincoln TC120 [22], [34]

Mikrobus – Velkoprostorový automobil s uzavřenou karoserií pro 6 až 8 cestujících nejméně ve dvou řadách sedadel. Opěradla zadních sedadel jsou sklopná či celá sedadla vyjímatelná a může být odvozen od malého nákladního automobilu.



Obrázek 20 Schéma mikrobusu, příklad VW Sharan [22], [35]

Offroad – Je automobil určený do terénu, zpravidla je tvořen robustní rámovou karoserií. Ta může být uzavřená i otevřená, vozidlo má obvykle pohon všech kol. Vozidla offroad se oproti SUV, se kterými jsou často zaměňována, vyznačují rámovou konstrukcí, účelovějším zaměřením a výbavou pro jízdu v terénu, např. uzávěrka diferenciálu či redukční převodovka. Nejznámějšími zástupci kategorie jsou Nissan Patrol, Suzuki Gran Vitara či Jeep Wrangler.



Obrázek 21 Schéma offroadu, příklad Jeep Wrangler [22], [36]

Gran Turismo – Vznikl kombinací karoserií hatchback a kupé s pozvolnějším klesáním zádě. Sportovní automobil zaměřený na pohodlí.



Obrázek 22 Schéma Gran Turismo, příklad Alfa Romeo Brera [22], [37]

Pickup – Užitkový automobil, který má uzavřenou kabinu a odděleným nákladovým prostorem. Nákladový prostor je tvořen pevnými bočnicemi a sklopným zadním čelem a může být zakrytý plachtou nebo pevnou nástavbou.



Obrázek 23 Schéma pickupu, příklad Škoda Felicia Pickup [22], [38]

2.2 Měnitelná karoserie

Kabriolet – Jedná se o vůz s proměnlivou karoserií, se dvěma dveřmi a alespoň čtyřmi místy pro cestující. Je vybaven sklápěcí čalouněnou střechou a boční okna a rámy jsou spouštěcí, přičemž čelní stěna je pevná.



Obrázek 24 Schéma kabrioletu, příklad VW Eos [22], [39]

Polokabriolet – Automobil s proměnlivou karoserií, se čtyřmi dveřmi, alespoň čtyřmi místy pro cestující. Doplnkem je sklápěcí čalouněná střecha s pevnými rámy nad okny a pevnou čelní stěnou.



Obrázek 25 Příklady polokabrioletu Citroën 2CV, Fiat 500C Abarth [40], [41]

Roadster kabriolet – Jedná se o proměnlivou karoserii s párem dveří, jednou řadou sedadel pro 2 až 3 cestující. Dále je typický zvětšený zavazadlový prostor či nouzová sedadla v druhé řadě.



Obrázek 26 Příklady roadsteru kabrioletu Audi TT roadster [42], [43]

Targa Proměnlivá karoserie v přední části a uzavřená v části zadní. Používaná zejména u sportovních automobilů. Dále má jeden pár dveří a u některých modelu může být ponechán pevný pruh střechy pro zachování tuhosti. Tento druh automobilu je proslaven především automobilkou Porsche a jejím modelem 911 Targa.



Obrázek 27 Schéma targa, příklad Porsche 911 Targa [22], [44]

Landaulet – Luxusní automobil s uzavřenou karoserií v přední části a otevřenou vzadu. Interiér je uspořádán dle požadavků zákazníka a může být chráněn zatahovací plátěnou střeou. Dříve byly tyto automobily často používány vysokými státními představiteli, ale kvůli obavám o bezpečnost se přestaly používat. Tento druh automobilů není obvykle vyráběn sériově ani malosériově, ale jedná se o jednotlivě upravované vozy. Jednou z mála značek mající ve svém portfoliu landaulet je Maybach.



Obrázek 28 Schéma landauletu, příklad Lexus LS600h L Landaulet [22], [45]

2.3 Otevřená karoserie

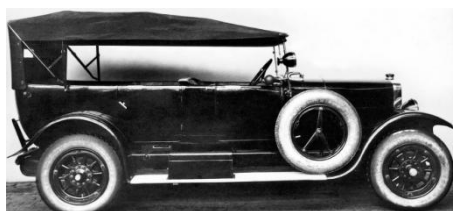
Roadster (spider) – Jedná se o otevřenou karoserii se dvěma dveřmi a jednou řadou sedadel pro 2 až 3 cestující. Za první řadou sedadel je zvětšený zavazadlový prostor či nouzová sedadla. Vozidlo má buď plátěnou či pevnou snímatelnou střechu (tzv. hard top).

Tento druh je obdobou karoserie faeton, vznikla z jeho původního uspořádání s jednou řadou sedadel.



Obrázek 29 Schéma spideru příklad AC Ace [22], [46]

Turér, faeton – Otevřená karoserie se čtyřmi dveřmi a dvěma řadami sedadel. Boční okna a rámy jsou vyjímatelné a čelní stěna může být sklopná. Název phaeton či faeton pochází z označení otevřených a rychlých kočárů se dvěma sedadly, jejichž pojmenování má původ v řeckých mytologiích. Automobily s tímto názvem se nejdříve objevovali s jednou řadou sedadel a z nich se později vyvinuly dvojité a ojediněle i trojitě verze zpravidla se skládací střechou a bez oken.



Obrázek 30 Příklad featonu Škoda L & K 120 [47]

3 Rozdělení střešní konstrukce osobních automobilů

3.1 Otevíratelné střešní okno

Toto řešení se u dnešních nových modelů osobních automobilů příliš nepoužívá. Bývá nahrazeno panoramatickým střešním panelem. Řešení se střešním oknem přináší výhodu v minimálním narušení tuhosti karoserie. Otevírací mechanismus může být u těchto oken řešen jako výklopný, posuvný či integrovaný. V prvním případě je okno uloženo na otočných pantech na příčné hraně a může se vyklápět. Dle provedení to může být ve směru jízdy, což je častější, či proti směru jízdy. Posuvné provedení je složitější. Okno je připevněno ve speciálním mechanismu, který umožňuje vysunutí celého okna nad střechu a jeho posunutí vhodným směrem pro lepší vstup vzduchu. Nejelegantnějším řešením je integrované otevíratelné střešní okno. Při jeho otevření není narušena silueta automobilu. Omezením je ovšem škála modelů, u kterých lze toto řešení použít a složitost provedení. [48]

Ovládání těchto oken je závislé na typu a modelu. Levnější provedení zejména výklopných modelů bývají ovládána mechanicky pomocí madla či podobného jednoduchého mechanismu. Modely ve vyšší cenové kategorii jsou ovládány výhradně elektricky. Dalším příslušenstvím může být dešťový senzor či dálkové a programovatelné ovládání. [48]

Okno je vyrobeno z bezpečnostního skla, rám z plastu nebo plastu vyztuženého skelnými vlákny a těsnění například ze silikonu. [49]

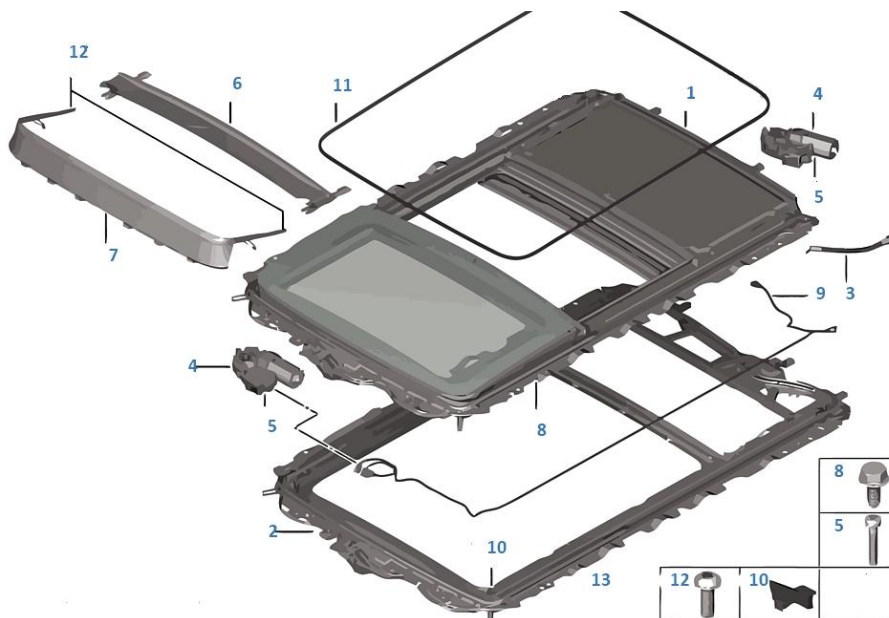


Obrázek 31 Schémata a příklady střešního okna [48]

3.2 Panoramatická střecha

Popularita tohoto doplňku neustále stoupá. Umožňuje vyšší prosvětlení interiéru, pocit vzdušnosti a lepší výměnu vzduchu v kabině. Přináší s sebou i nevýhody, zejména svou vyšší cenu, vyšší hmotnost a intenzivní ohřívání interiéru ve slunečných dnech. Na trhu jsou dvě varianty, a to pevná a otvíratelná panoramatická střecha. [50]

Panoramatický střešní panel se skládá z rámu a bezpečnostního skla. Rám složený z několika kovových a plastových částí je uzpůsoben tak, aby umožnil vhodné připevnění skel a přebral funkci pevnostních dílů, které byly z karoserie kvůli prostoru pro panoramatickou střechu odstraněny. Sklo použité pro konstrukci je bezpečnostní, tj. složené z vrstev skla a plastové fólie. [50]



Obrázek 32 Skladba panoramatické střechy [51]

V dnešní době je již standardním příslušenstvím roletka, která umožňuje tuto střechu zevnitř zakrýt a zabránit slunečnímu svitu ohřívat interiér. Novým řešením pro ztlumení pronikajícího záření do vozidla je technologie zatmavení tekutými krystaly. Dalším obvyklým doplňkem je větrolam neboli svislá síťka v přední části. Současné modely panoramatických střech jsou ovládány téměř vždy elektricky. [50]

3.3 Snímatelný střešní panel (targa)

Název targa je odvozen z italštiny a znamená talíř. Někdy bývá tento typ karoserie nazýván jako T-top. Tato konstrukce se začala rozšiřovat v šedesátých letech dvacátého století v USA. Bylo to zejména z obavy bezpečnosti kabrioletů při převrácení. [52]

Sejmutí střešního panelu může být řešeno několika způsoby. První a nejjednodušším je manuálně. Panel se obvykle odjistí manuálními pojistkami, vyjme se a uloží do místa vyhrazeného výrobcem, zpravidla do zavazadlového prostoru. Toto řešení přináší výhody

v jednoduchosti a nízké hmotnosti. Díky této výhodě je řešení často použito u sportovních automobilů jako je Porsche 918 Spyder či Chevrolet Corvette Stingray. [52]

Další možnou konstrukcí je posuvné složení panelu. V tomto případě je panel po odjištění elektromotorem stažen a zasunut pod zadní okno. Výhodou tohoto způsobu je malý počet dílů, se kterými je nutno manipulovat, a neomezení zavazadlového prostoru. Posuvné skládání střechy mají automobily Porsche 911 Targa starších modelových řad (993, 996, 997). [52]

Asi nejsložitějším řešením je automatické složení střešního panelu pod zadní víko. Systém v každém automobilu se mírně liší. Například firma Porsche u svého posledního modelu 911Targa (991) má systém řešen v několika krocích. Nejdříve se otevře zadní víko směrem dozadu, dále se na vrchní části B-sloupku otevřou prostupy pro páky mechanismu a střešní díl s vodicím mechanismem se složí pod otevřené zadní víko. V posledním kroku se části B-sloupku a víko uzavřou. Jiné řešení zvolila automobilka Honda u svého modelu CRX del Sol. Zde se nejprve vertikálně vysune ploché zadní víko až do výšky střechy, střešní panel se odjistí, na pístech nadzvedne, ze zadního víka se vysune mechanismu, který se připojí k panelu, zajistí se a zase zpět i se střešním panelem zasune do zadního víka a víko se vrátí pohybu dolů do své původní polohy. [52]



Obrázek 33 Ukázky skládání střechy Porsche, Honda [53], [54]

Posledním častěji používaným systémem je otočné uložení střešního panelu. V tomto případě je střecha uložena v rotačních pouzdrech a pohyb zajištěn elektromotorem. K otevření dochází překlopením střechy směrem dozadu. Pro toto řešení nejsou nutné další součásti mimo otočné uložení s elektromotorem a úložného mechanismu. Nevýhodou je přizpůsobení vnějšího designu či úložného prostoru malému rozsahu pohybu střechy. Příkladem je Ferrari 575M Superamerica. [52]



Obrázek 34 Skládání střechy Ferrari 575M Superamerica [55]

4 Uhlíkový kompozit

4.1 Charakteristika materiálu

Zvoleným materiálem je kompozit CFRP, uhlíkovými vlákny vyztužený plast (carbon fiber reinforced plastic). Někdy je tento materiál nazýván pouze jako karbon. Je to materiál s velkým potenciálem v automobilovém průmyslu. Jeho dřívější používání u závodních automobilů se přeneslo do sériových sportovních automobilů a speciálních edic běžnějších modelů. U posledních jmenovaných nebývá uhlíkové vlákno použito přímo v konstrukci celé karoserie, ale jen u vybraných dílů či doplňků, jako jsou kapota nebo různé spoilery.

4.2 Výroba

Výroba kompozitu CFRP, ale i ostatních kompozitů, spočívá ve spojení pevné výztuže a poddajné matrice.

Uhlíkové vlákno

První uhlíkové vlákno vyrobil T. A. Edison v roce 1879. Bylo vyrobeno jako karbonizované vlákno z bambusu pro žárovku. Rozšíření uhlíkových vláken nastalo v 50. letech 20. století, kdy se postupně začaly využívat jejich přednosti.

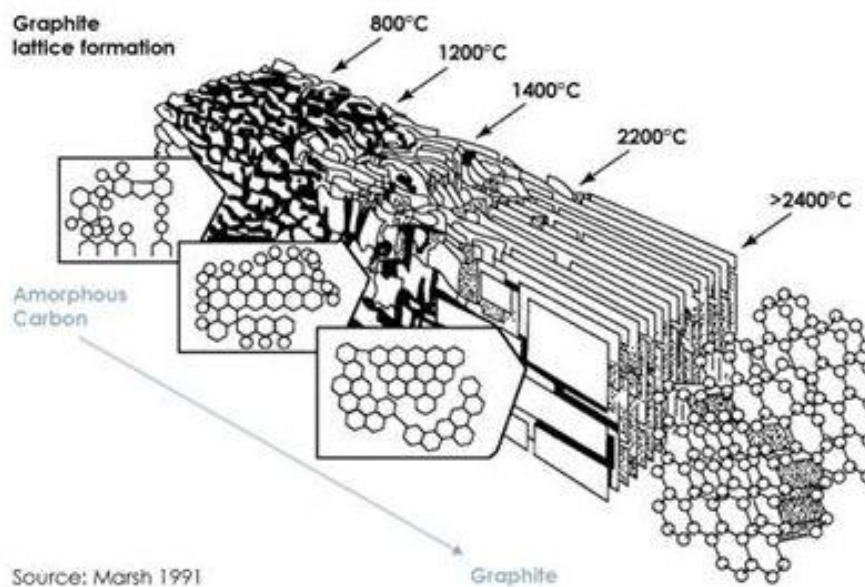
Uhlíková vlákna se vyrábějí ze tří materiálů. Jsou jimi viskózní vlákna, polyakrylonitrilová vlákna nebo smola.

Smola je přírodní polymer, zbytek při výrobě ropy. Vyrobená vlákna jsou dvojího druhu. První jsou velmi pružná, avšak mají pouze průměrné mechanické vlastnosti. Druhá jsou vlákna s vysokými parametry. Vlákna ze smoly se vyrábějí pomocí tkaní v horkém vzduchu, tím je zaručena jejich karbonizace a je možné vyrobit i plsti. První druh vláken se používá jako výztuž do betonů či jako izolace, druhý pro pevnostní použití. Obecně se vlákna ze smol používají velmi zřídka. Výhodou je vysoká výtěžnost ze suroviny, ale převažuje ji nevýhoda ve vysoké ceně a vyšší pórovitosti. [56], [57]

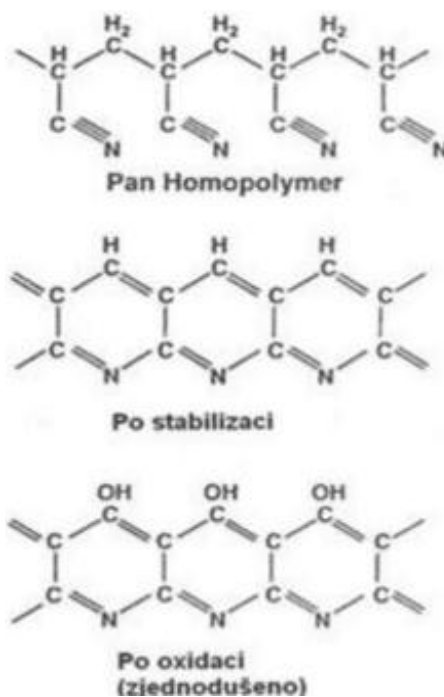
Naopak nejrozšířenější jsou vlákna z polyakrylonitrilu. Polyakrylonitril je jedovatá kapalina, která vzniká amoxidací propylenu a jeho vlákna se označují zkratkou PAN. Dále se používají viskózní vlákna, což jsou vlákna vyráběná zvlákněním z přírodního polymeru, například dřevní celulózy. Vstupující vlákno musí být nejdříve stabilizováno. To se provádí kvůli zahřátím na 300 °C po dobu jedné až dvou hodin. Touto operací vlákno získá z okolí

další kyslíkové molekuly a dojde k přerovnání vnitřní struktury. Další operací je karbonizace. Ta probíhá při vyšších teplotách, tj. 1000–2000 °C, v inertní atmosféře po dobu 30 až 60 sekund. Inertní atmosféra je použita, aby vlákno nemohlo hořet. Místo toho se molekuly rozkmitají do takové míry, že jsou téměř všechny neuhlíkové atomy vyloučeny. Vytvoří se také nová struktura, kdy se atomy uhlíků uspořádají téměř paralelně s osou vlákna. Vzniklá vlákna obsahují 85–95 % uhlíku a označují se jako vysokopevnostní. Pokud je požadována větší uhlíková čistota, provádí se další operace a tou je grafitizace. Ta probíhá při teplotách o 1000 °C vyšších než karbonizace. Proces trvá krátce, pouze 20 sekund. Výsledný obsah uhlíku je 99 %, vlákna mají menší tahovou pevnost, ale vyšší modul pružnosti v tahu. Dalším operací je povrchová úprava. Probíhá ponořením vlákna do elektricky nabitého roztoku. Povrch vlákna se naleptá a tím se zajistí lepší absorpce pryskyřice. Na povrch se ze stejného důvodu mohou přidávat další látka v malém obsahu třeba kyslík nebo jiné pryskyřice. Výsledné vlákno má průměr 5 až 10 µm, což je přibližně desetina průměru lidského vlasu. Dále se uhlíkové vlákno distribuuje nebo se používá pro výrobu tkaniny či prepregů. [56], [57], [59], [60]

Jak už bylo zmíněno, uhlíková vlákna se dělí podle stupně jejich zpracování na uhlíková a grafitová. Grafitová mají mimo nižší pevnosti a vyšší pružnosti také jinou strukturu. U nich oproti amorfní struktuře u uhlíkových vláken převažuje krystalický grafit ve formě bloků. Právě na jejich uspořádání závisí zejména tuhost vlákna, viz **Obrázek 35**. Dále se uhlíkové vlákno dělí podle počtu pramenů, ze kterých je výsledné vlákno tvořeno. Přesněji podle tisíců kusů. Nejčastějšími "velikostmi" jsou 1K, 3K, 6K, 12K, 24K a 50K. Písmeno "K" označuje tisícový počet, takže 1K znamená jeden tisíc vláken. [61]



Obrázek 35 Průběh změn struktury uhlíkového vlákna při zpracování [62]



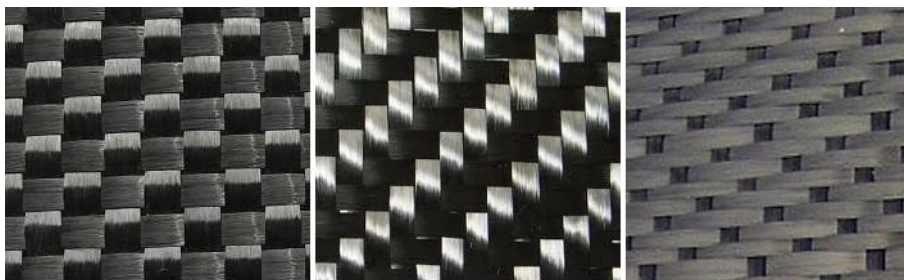
Obrázek 36 Chemické vazby uhlíkového vlákna při zpracování [62]

Tabulka 1 Průměrné vlastnosti uhlíkového vlákna [57]

Vlákno	Uhlíkové
Průměr [μm]	7- 10
Hustota [kg.m^{-3}]	1,6
Pevnost v tahu [GPa]	2,5- 3,5
Modul pružnosti [GPa]	250- 300
Teplota tání [$^{\circ}\text{C}$]	3650

Vazba tkaniny CFRP

Uhlíkové kompozity lze rozdělit podle několika hledisek. Jedním z nich je systém tkaní vláken uhlíkové tkaniny. Vazby tkanin rozlišujeme na plátnovou (plain), keprovou (twill) a atlasovou (harness) vazbu. Na **Obrázek 37** jsou zobrazena pouze jednoduchá provedení těchto vazeb. Dále mohou být násobně, kdy se schéma tkaní opakuje na sousedních vláknech. Vazby jsou zde seřazeny podle své náročnosti na výrobu, přičemž nejjednodušší je plátnová vazba. Ale tento systém tkaní přináší nevýhody v obtížném tvarování do formy a vysokém zvlnění. Tyto nedostatky jsou minimalizovány atlasovou vazbou. Pro speciální aplikace jsou vytvořeny jedinečné systémy vazeb. Může to být "V" vzor vytvoření vzájemným natočením a spojení dvou stejných vazeb nebo vzory při navíjení a oplétání. [56]

**Obrázek 37** Druhy vazeb uhlíkové tkaniny – plátnová, keprová, atlasová [66], [67]

Prepregy

Prepregy jsou polotovary pro výrobu zejména vláknových kompozitů v podobě tkaniny napuštěné částečně vytvrzenou pryskyřicí. Podle uspořádání výztuže lze prepregy rozdělit na jednovrstvé, vícevrstvé, kombinace tkanin a rohože, prostorově pletené či se sekanými vlákny. Prepregy se mohou vyrábět několika metodami, a to ručním kladením, strojním kladením a navíjením. Při výrobě obvyklých prepregů je nutné vytvořit tkaninu a vrstvu matrice. Tkanina se vyrábí z uhlíkových vláken na speciálním tkacím stroji nebo

častěji karbonizováním utkané textilie obdobně jako vlákna. Mezitím je připravena matrice. Rozmíchaná matrice se nanese na papír upravený proti přilnutí. Následuje spojení výztuže a matrice. Uhlíková tkanina je zahřátá a z obou stran je na ní přiložen papír s matricí. Poté vše projde mezi lisovacími zahřátými válci a nakonec se z materiálu odstraní nosný papír. Před nabalením do cívky může být na povrch nanesen film polypropylenu, aby nedošlo ke slepení vrstev. [63], [64]

Výroba kompozitu

V následujícím odstavci budou popsány pouze technologie, které jsou podle autora používány pro kompozitní díly v automobilovém průmyslu. Výroba CFRP kompozitů může být prováděna ze dvou vstupních materiálů, buď z prepregu, nebo přímo z uhlíkového vlákna či tkaniny. Výrobní proces je podobný. Rozdíl se týká pouze úseku, kdy do výrobku přidána matrice. Při výrobě z prepregů je matrice už obsažena v tomto polotovaru. Pokud je použito uhlíkové vlákno, matrice je přidána až v průběhu tvarování. Celý výrobní proces kompozitů probíhá v tomto sledu. V první řadě je vstupní materiál pečlivě vyskládán do formy. Je možné použít jednu či více vrstev podle určení výrobku. Při kladení do formy je nutné zajistit minimální obsah vzduchových bublin. Kladení je ve většině případů manuální. Pro lepší práci se někdy používá lokálního ohřevu fénem či žehličkou. Následující operace liší podle vstupního materiálu. V případě prepregu je další operací zabalení do nepropustné fólie a odsátí vzduchu. Při použití samotného vlákna je možné pokračovat ručně nebo automaticky. Při ruční operaci je pomocí štětce či válečku nanášena pryskyřice. Při automatizaci je po založení materiálu forma přesunuta do lisu. Zde je při pokojové teplotě či mírném ohřevu stlačena silou odpovídající až několika stovkám tun a současně je dovnitř vstříknuta matrice pod tlakem 2 až 10 bar. Přebytek pryskyřice je vytlačen do kanálků ve formě. Proces pokračuje vytvrzením přímo v lisu nebo je součást přesunuta do autoklávu. Tam míří i výrobky z prepregů. Autokláv je tlaková nádoba, která pracuje za zvýšených až vysokých teplot. V tomto zařízení zůstane materiál podle požadovaných vlastností od 2 do 8 hodin přibližně při teplotě 200 °C. Rozdíl je samozřejmě ve výsledné kvalitě povrchu. Při ručním formování je někdy použita pouze jednodílná forma, tudíž je povrch kvalitní pouze z jedné strany. U automatizace jsou použity dvoudílné formy a kvalitní jsou oba povrchy. [56], [57]

Kompozitní výrobky mohou být vyráběny i dalšími technologiemi. Jednou z nich je vstřikování složky či složek do formy. Vstřikována může být pryskyřice, jak je již uvedeno výše, nebo může být vstřikována kombinace tekuté pryskyřice s rozptýlenou výztuží. Tato

metoda může mít několik obměn. Může být použité nahřívání potrubí nebo formy. Dalším výrobním postupem může být odstředivé tváření. Při něm jsou do ohřívání otočného válce přiváděna krátká vlákna výztuže společně s pryskyřicí. [58]

Zejména pro výrobky podlouhlého tvaru se používá systém navíjení. Výroba může být prováděna ručně nebo automaticky. Ruční zpracování se volí u jednodušších výrobků, automaticky se vyrábějí složitější díly, u nichž je důležité přesné navinutí vláken. Může být použito samotných vláken, která jsou vedena před lázeň pryskyřice nebo pásků prepregů. Navíjení probíhá na jádro, které je po vytvrzení vyjmuto nebo zůstává součástí výrobku. Tento postup je používán pro hřídele, trubky, rybářské pruty nebo lyžařské hůlky. Speciální technologií v tomto směru je laserem naváděné oplétání šablony. Takto jsou vyráběny například A-sloupky karoserie vybraných automobilů. Slouží k tomu speciální stroj kruhového tvaru. Do jeho středu je umístěna šablona. Pomocí cívek s vláknem, které se otáčí kolem své osy a také se pohybují po obvodu stroje, je na šablonu navinuto vlákno přesně daným systémem. Počet cívek je kolem 150. Po navinutí dojde k vyztužení pryskyřicí a dokončení výrobku. [65]

Matrice pro CFRP

Materiál matrice musí být volen tak, aby docházelo ke vhodnému vytvoření kompozitu s co nejlepšími vlastnostmi. Matrice se vyrábí z vhodného základu a směsi tužidla, urychlovače a případných dalších plniv. Jako základ matric se používají plasty. Lze použít reaktoplasty i termoplasty, i když první jmenované jsou mnohem častější. Rozšíření termoplastické matrice brání její velká viskozita v tekutém stavu. Ze skupiny reaktoplastů jsou nejpoužívanější nenasyčené polyestery (UP), vinylestery (VE), epoxidové (EP) a fenolické pryskyřice (FR). Polyesterové pryskyřice se používají v obvyklých aplikacích, a proto se vyskytují nejčastěji. V Chemicky náročném prostředí a při vysokém mechanickém namáhání se používají vinylestery. Jejich typické použití je při práci s ropou. Epoxidové pryskyřice je používají na lepidla, mají dobré elektroizolační vlastnosti, jsou odolné proti vodě, rozpouštědlům a kyselinám. Pro další speciální aplikace se používají fenolické pryskyřice. Jsou ohnivzdorné a chemické odolné. Nevýhodou je uvolňování amoniaku při vytvrzování. [57]

Tabulka 2 Vlastnosti vybraných matric [57]

Matrice	Hustota	Modul pružnosti v tahu	Pevnost v tahu
	[g.cm ⁻³]	[GPa]	[MPa]
Termosety	1,1 - 1,67	1,3 - 6	20 - 180
Epoxy	1,1 - 1,4	2,1 - 6	35 - 90
Polyestery	1,1 - 1,5	1,3 - 4,5	45 - 85
Fenolické pryskyřice	1,3	4,4	50 - 60
Polyamidy	1,2 - 1,9	3 - 3,1	80 - 190

4.3 Další vlastnosti

4.3.1 Fyzikální vlastnosti

Tabulka 3 Průměrné fyzikální vlastnosti CFRP [57], [74]

Vlastnost	Jednotka	Ocel (0,2 % C)	CFRP (0/90 °, epoxy, Std)
Hustota	kg·m ⁻³	7850	1600
Teplota tání	°C	1430	300–400
Koef. délk. roztažnosti	K ⁻¹	0,000012	0,00000215
Souč. tep. vodivosti	W·m ⁻¹ ·K ⁻¹	50	5 – 24
Magnetické vlast.	-	Feromagnetické	Nemagnetické

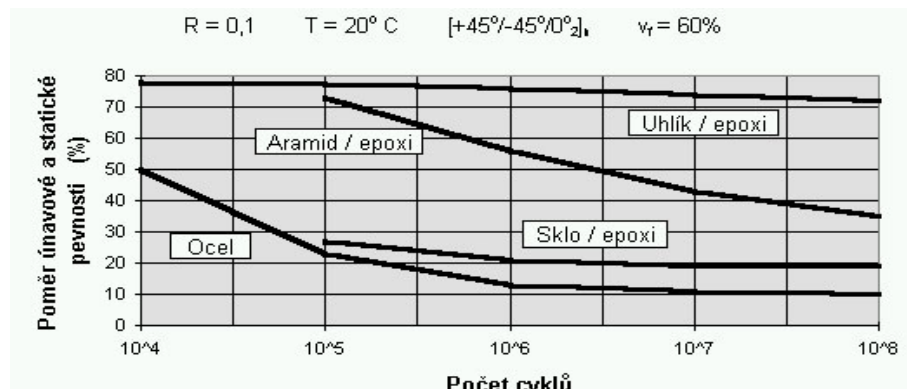
4.3.2 Chemické vlastnosti

Mezi dobré chemické vlastnosti patří odolnost proti korozi a rozpouštědlům. Dále jsou uhlíková vlákna nehořlavá a částečně biologicky inertní, proto se používají jako příměs do nehořlavého oblečení. Dál jsou tento kompozit odolný vůči působení atmosférické korozi, náročnému prostředí a chemikáliím. Nevýhodou uhlíkových kompozitů je špatná snášenlivost UV záření, proto je nutné použít stabilizátor či speciální lak. [69]

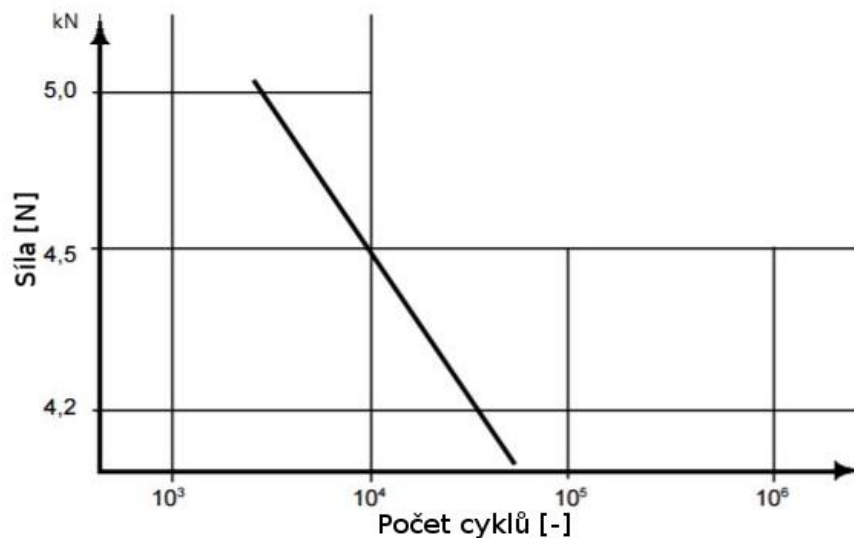
4.3.3 Technologické vlastnosti

Technologické vlastnosti jsou dány použitými materiály na výztuž a matrici a rozdílnými atributy před a po vytvrzení. Před vytvrzením je výztuž dobře tvárná, matrice musí mít dobrou slévatelnost a zabíhavost. To vše je důležité ke správnému uložení do formy a následnému lisování. Další technologickou vlastností, která na toto navazuje, je obrobiteľnosť. Ač jsou uhlíkové kompozity téměř ve finální podobě už po lisování, je nutné je v některých případech obrábět, zejména kvůli uchycení. Nejčastěji je to vrtání děr. Vrtání je velmi obtížné, dochází k delaminaci. Tu je možné minimalizovat vrtákem se speciální geometrií. Svařitelnost kompozitu CFRP konvečními metodami není možná. Velkou předností těchto kompozitů je výborná odolnost proti opotřebení. [68]

4.3.4 Únavové charakteristiky



Obrázek 38 Únavové chování kompozitů a oceli [61]



Obrázek 39 Únavové chování uhlíkového kompozitu [74]

4.4 Likvidace CFRP

Po skončení životnosti kompozitu, respektive vozidla, na které byl použit je nutná jeho likvidace. Nejlepší volbou je úplná recyklace materiálu a jeho zpětné využití. V případě konvenčních materiálů používaných v konstrukci automobilu je až 90 % hmotnosti. Bohužel u uhlíkových kompozitů je problém s jeho recyklací. Problém je to zejména s ohledem na cenu vstupního materiálu. Ostatní druhy výztuže jsou levnější, tudíž není recyklace tolik potřebná z ekonomického hlediska. V současné době jsou nejpoužívanější tři metody, a to drcení, chemická recyklace a spalování. Drcení je použitelné pro křehké materiály jako je např. sklo. Drcení je obvykle prováděno dvoustupňově, nejdřív hrubé a jemné mletí. Tento

recyklát je možné použít do nového kompozitu a to až v pětinovém poměru. Na uhlíkem vyztužené kompozity se používá chemického zpracování. Používají se metody pomocí hydrolýzy, hydrogenace a pyrolýzy. Problémem je, že z kompozitu lze recyklací získat pouze výztuž. Dalším problémem je snížení kvality vláken. Poslední hojně používanou metodou je spalování. Je to nejjednodušší způsob, ale také nejméně ekologický. Materiál je použit jako palivo pro získání tepelné energie. [70]

4.5 Cena uhlíkových vláken

Cena uhlíkových vláken je důležitým faktorem pro jejich širší využití. Jako ve všech oblastech větší využití znamená nižší cenu a nižší cena znamená širší využití. Na začátku 70. let 20. století, kdy se vlákna začala více využívat v technice, byla jejich cena kolem 10 000 Kč za 1 kg (\$170 / 1 pound). Současný stav lze vidět v **Tabulka 4**. Cena na uhlíkové tkaniny se liší zejména podle plošné hustoty a druhu vazby. [71]

Tabulka 4 Cena uhlíkové tkaniny [71]

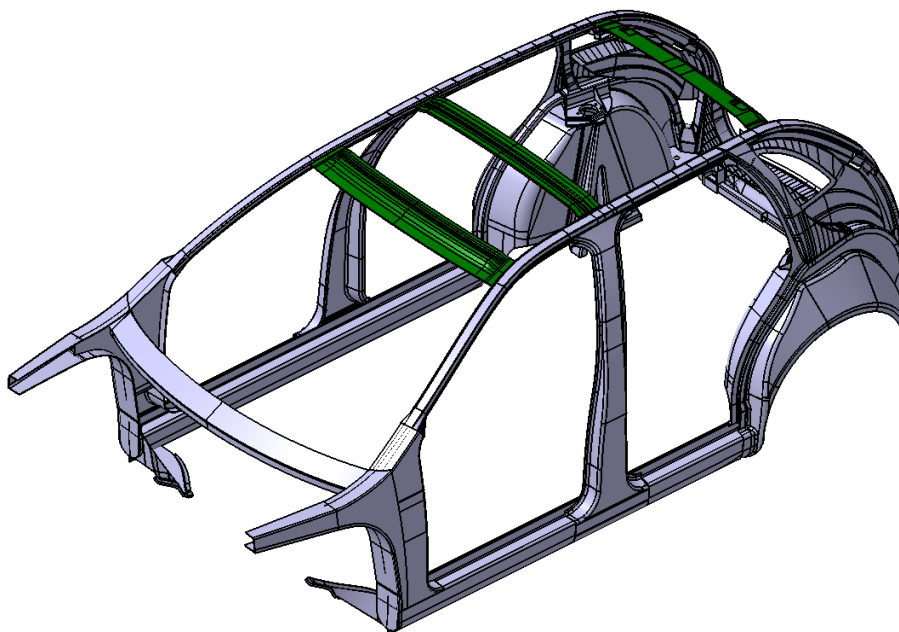
Plošná hustota [g/m ²]	Vazba	Pramenů ve vlákne [-]	Cena s DPH za 1 m ² [Kč]
160	Keprová	3K	469
200	Keprová	3K	585
280	Keprová	3K	668
420	Keprová	12K	546
600	Keprová	12K	697
60	Plátnová	1K	1098
80	Plátnová	1K	1963

5 Návrh řešení

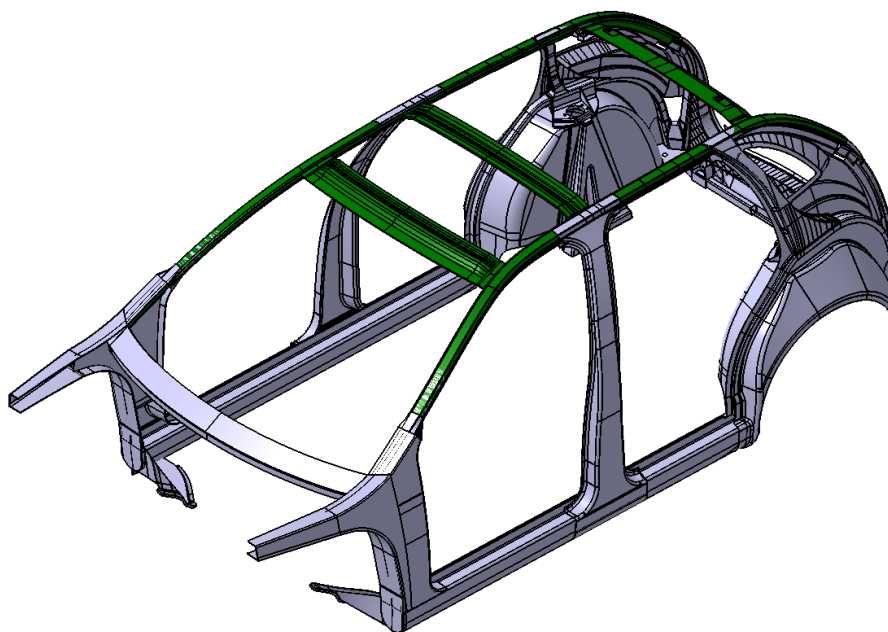
5.1 Možná řešení

V první fázi byla navržena tři možná řešení. V každém řešení je uvažován kompozitní materiál u jiných dílů, případně jiné tvarové řešení. Jako výchozí návrh pro další řešení byla zvolena třetí možnost. Jako zástavbový prostor byl použit studentský model automobilu. K tomuto modelu byly přizpůsobovány rozměry konstrukce.

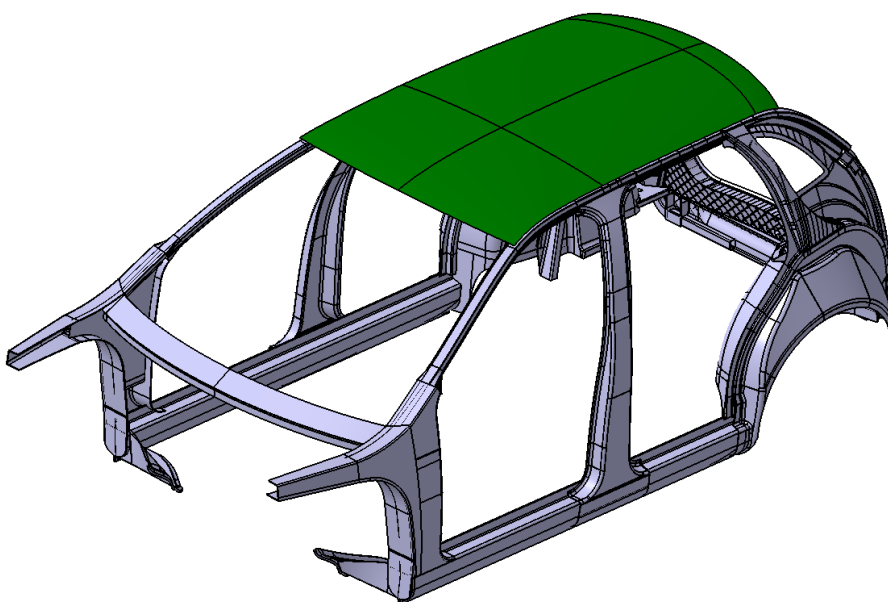
V prvním návrhu byly uvažovány příčnky z kompozitu a možnost i podélníků z kompozitu. Druhý návrh se liší nahrazením příčníků dvoudílnou plošnou konstrukcí z CFRP a ponecháním kovových podélníků. Třetí řešení je navrženo jako laminátová sendvičová konstrukce s karbonovými podélníky rovněž s jádrem. Na **Obrázek 40**, **Obrázek 41** a **Obrázek 42** jsou dané návrhy graficky zobrazeny. Zeleně jsou vyznačeny díly, u jejichž konstrukce bylo počítáno s kompozitním materiálem.



Obrázek 40 První návrh konstrukce



Obrázek 41 Druhý návrh konstrukce



Obrázek 42 Třetí návrh konstrukce

5.2 Podrobnější konstrukce

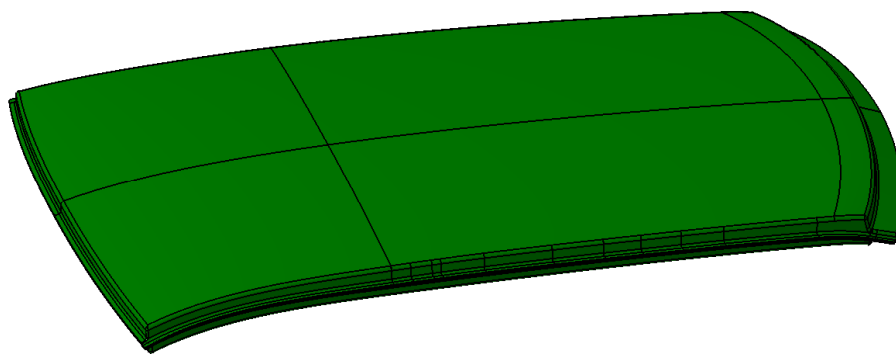
Samotné řešení se skládá ze dvou větších celků a dalších doplňků konstrukce. Jednou konstrukční skupinou je celek střešního panelu a další je skupina podélníků. Dalšími doplňky jsou myšleny střešní lišty sloužící jako těsnění zejména proti vnikání vody.

Samotný digitální návrh probíhal v CAD softwaru dle zásad pro tvorbu modelů automobilů. První zásadou je umístění počátku souřadnicového systému. Ten má nulovou pozici přibližně ve středu přední nápravy. Směry os jsou následující: osa x směřuje v podélné ose automobilu rovnoběžně s vozovkou proti směru primárního pohybu automobilu. Osa y směřuje do středu pravého předního kola a osa z má kladný směr kolmo od vozovky směrem nahoru. Dalším pravidlem pro tvorbu je konstrukce pouze levé strany. Automobil je symetrický až na detaily podle roviny zx, a proto se tohoto využívá a modeluje se pouze levá strana. Pravá strana se modeluje jen v případě, že jsou díly vlevo a vpravo odlišné. Nejedná se tolik ani ušetření pracovního času při tvorbě samotného modelu, ale také při tvorbě další přípravků, forem a součástí používaných při výrobě automobilu. Poslední důležitou zásadou je pozicování jednotlivých částí. Části automobilu k sobě nejsou přímo vazbeny, ale jsou ustavovány ve stejném souřadnicovém systému. V rámci tohoto systému jsou umístěny do pracovních pozic. Tudíž po nahrání do jedné sestavy se díly objeví na správném místě.

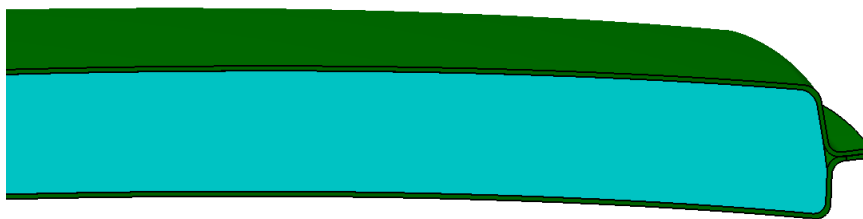
5.2.1 Střešní panel

Střešní panel lze podle materiálů rozdělit na tři vrstvy. První je vrchní deska z uhlíkového kompozitu, uprostřed je jádro z pevnostní pěny, které je z druhé strany uzavřeno opět deskou z uhlíkového kompozitu.

Tento panel je vyráběn jako celek ve formě. Jako materiál byl zvolen kompozit s uhlíkovou tkaninou a epoxidovou pryskyřicí jako matricí firmy Toray Textiles, s. r. o. na panely a univerzální konstrukční pěna firmy Airex. Jako výrobní postup byla zvolena metoda tlakového vstřikování pryskyřice, někdy označovaná zkratkou RTM (resine Tansfer Moulding), či při vyšším tlaku vstřikování jako SMC (Sheet Moulding Compound). Princip metody je podrobněji popsána v kap. 4.2, *Výroba kompozitu*. Tato konstrukce dále zvyhodňuje použití kompozitního materiálu, který sendvičové skládání materiálů umožňuje.

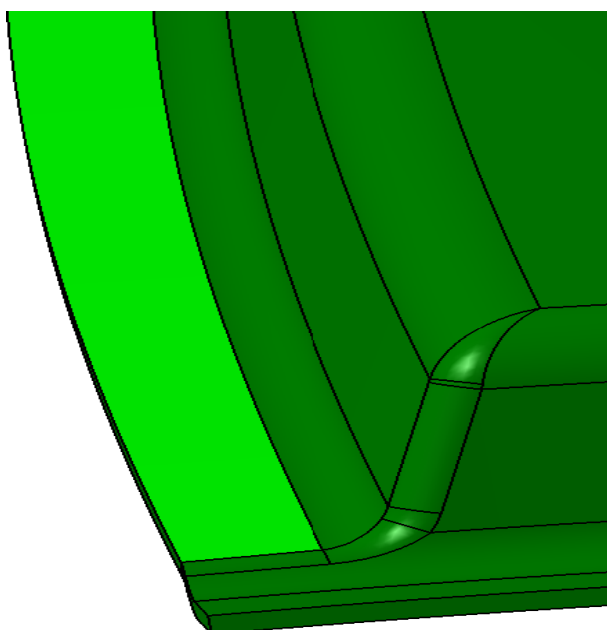


Obrázek 43 Navržený střešní panel

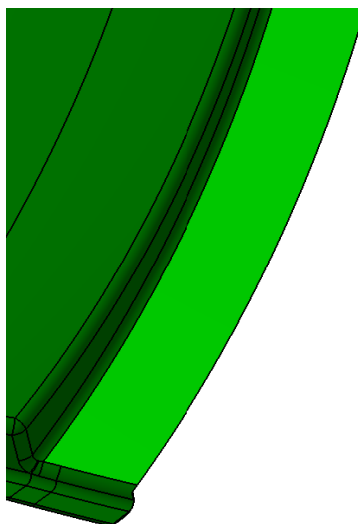


Obrázek 44 Sendvičová konstrukce panelu

Při konstrukci zejména této části střechy je nutné brát ohled na montáž sousedních dílů. Nejdůležitějším je čelní okno. Těsnost toho spoje je zajištěna díky rovné ploše v přední části konstrukce a díky ní možnost dobrého přilepení. Další částí, která na střešní panel navazuje, je víko zavazadlového prostoru. Pro tuto montáž se obvykle šroubový spoj, proto je na druhém konci ponechána plocha pro vytvoření díry.



Obrázek 45 Plocha pro přilepení čelního okna



Obrázek 46 Plocha pro montáž víka zavazadlového prostoru

5.2.2 Podélníky

Podélník, který má dále vyztužovat karoserii, se skládá ze tří částí, a to z vrchní a spodní karbonové a také jádra z konstrukční pěny, která byla použita ve střešním panelu.

Dlouhé profily kruhového či čtvercového průřezu je nejvhodnější vyrábět ovíjením, tato metodika je blíže popsáno v kap. 4.2, *Výroba kompozitu*. Tato metoda přináší jednodušší konstrukci, kdy není nutné pořizování žádných forem a jejich příslušenství. Avšak je nutné pořízení speciálního tkacího či motacího stroje, jehož cena je mnohem vyšší než u forem. Z tohoto důvodu a také z důvodu dodržení jedné koncepce výroby byla zvolena mírně složitější konstrukce ze dvou částí slepených dohromady a vloženého jádra. Části podélníků jsou ze stejného materiálu jako desky panelů a pěna je také stejná jako v střešní části.



Obrázek 47 Podélník vrchní levý a jeho profil



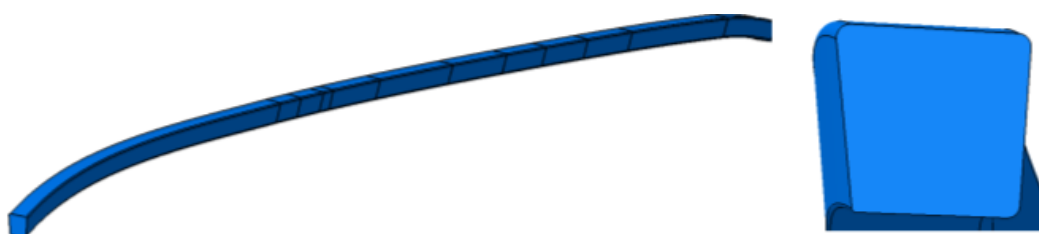
Obrázek 48 Podélník spodní levý a jeho profil



Obrázek 49 Jádno podélníku a jeho profil

5.2.3 Další části

Další částí je lišta z pryže, která vyplňuje prostor mezi vnější postranicí a bokem střešního panelu.



Obrázek 50 Lišta levá a její profil

5.2.4 Změna původních dílů

Při daném návrhu je nutné provést změny obvyklých dílů v karoserii automobilu. Řešení počítá se zachováním vnějšího pohledového dílu, tzv. vnější postranice. Naopak dojde k mírným změnám na vnitřní postranici. Je to zejména s ohledem na přilepení celé konstrukce do zbytku klasické konstrukce. Se změnou tvaru postranice se váže i tvar B-sloupku. Proto je v místě tvarového spoje sloupku a postranice také nutné uvažovat s konstrukčními změnami.

Pro možnost navrhnutí spoje mezi kompozitními díly a původními ocelovými byly vymodelovány části vnitřní a vnější postranice.

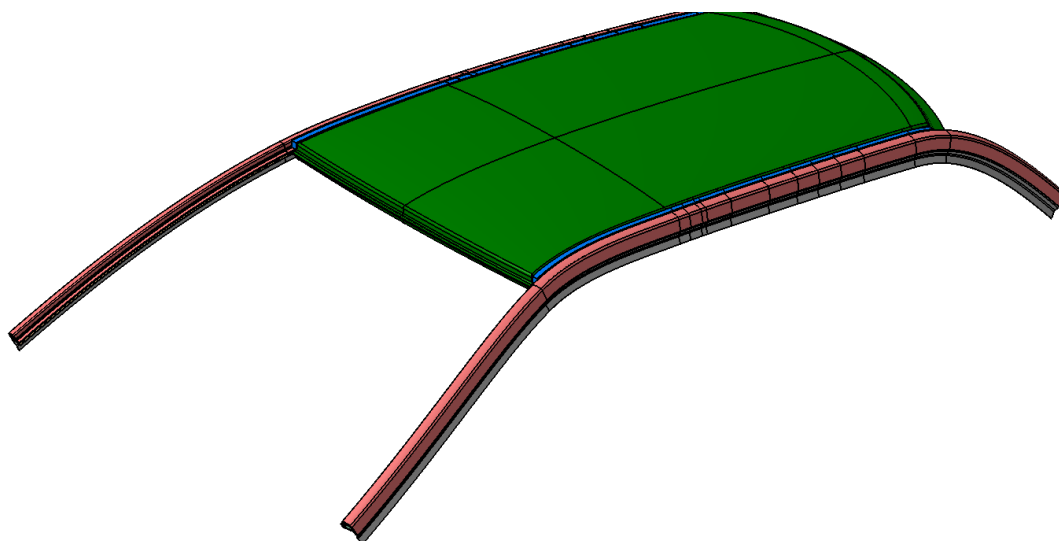


Obrázek 51 Vnitřní postranice a její profil

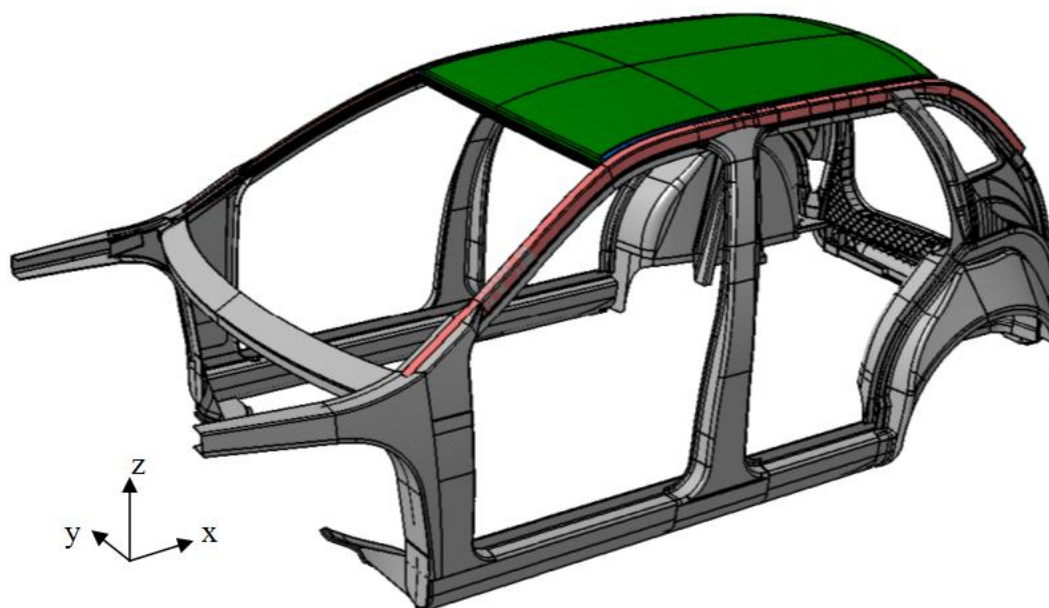


Obrázek 52 Část vnější postranice a její profil

5.2.5 Celá sestava



Obrázek 53 Celá sestava včetně postranic



Obrázek 54 Sestava střechy v modelovém automobilu

5.3 Spojení částí modelu

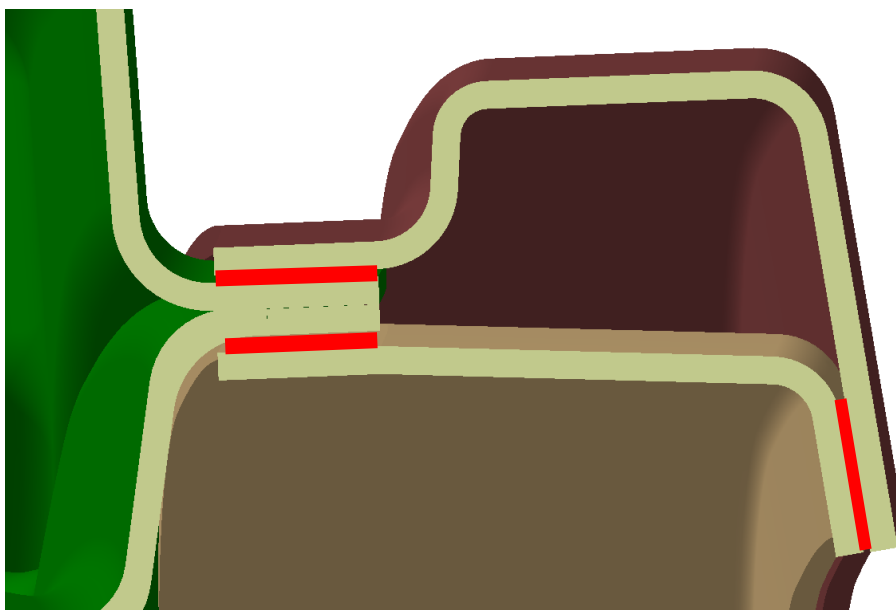
S ohledem na materiál, ze kterého je konstrukce složena je, nejlepším druhem spoje lepení. Pro lepení karoserie je možné použít dvousložkové metakrylátové lepidlo Acralock od firmy Matrix., a. s. Jsou to univerzální lepidla, která jsou schopná lepit různé materiály včetně kompozitů a kovů. Tato lepidla jsou dodávána jak v malých baleních, tak i v sudech o objemu 200 l pro sériovou výrobu.

Lepidlo se skládá ze dvou složek, a to samotného lepidla a aktivátoru. Každá složka má pro lepší rozeznání jinou barvu a ve výsledku mohou vytvořit, buď černou, nebo průhlednou barvu. Složky se mísí v poměru 1:1.

Tabulka 5 Vlastnosti lepeného spoje

Vlastnost	Hodnota
Pevnost v tahu [MPa]	24
Modul pružnosti v tahu [MPa]	690
Pevnost ve smyku [MPa]	30
Provozní teplota [°C]	- 55 – 120
Max. teplotní odolnost po 1 h [°C]	250
Hustota směsi [g/cm ³]	1
Doba zpracování [min]	5

Lepidlo je možné nanášet pomocí robota. To znamená, že díl je uchopen robotem do speciálního držáku pro daný díl. Tyto držáky bývají modulární konstrukce, dají se v jistých mezích upravovat pouze rozdílnou montáží. Tento držák je složen z upínek a přísavek, které uchopí díl a přenesou z přípravku. Pak robot s dílem zamíří ke stojanu s dávkovačem lepidla, na díl nanese lepidlo a poté přenesení díl k sestavě a zasadí díl do karoserie. Problém s lepením dílů nastává v době nutné k jejich zaschnutí a získání pevnostních vlastností. Tato doba je dle údajů výrobce minimálně 5 minut. Na **Obrázek 55** je znázorněn průřez konstrukcí z vrchního a spodního podélníku a střešního panelu. Červenými úsečkami jsou vyznačena místa spoje.



Obrázek 55 Ukázka lepeného spoje

5.4 Použitý materiál

Volba výztuže

Jako výztuž byla zvolena uhlíková tkanina s parametry uvedenými v **Tabulka 6**. Tato textilie byla zvolena kvůli své dobré tvarovatelnosti, cenové dostupnosti a možnosti použití s epoxidovou pryskyřicí. Dále je tato tkanina nenáročná na skladování, dá se jednoduše stříhat na požadovaný rozměr a je možné ji dobře vrstvit v požadovaných směrech.

Tabulka 6 Vlastnosti zvolené uhlíkové tkaniny [74]

Výrobce	Dodavatel	Označení	Plošná hustota [g/m ²]	Vazba	Počet vláken [-]
Toray Textiles, s.r.o.	Havel Composites CZ, s.r.o.	KC 200g/m ² , 3K, š. 120 cm	200	Twill 2/2 (keprová)	3000
Tloušťka [mm]	Počet vláken v útku [1/m]	Počet vláken v osnově [1/m]	Hustota [g/cm ³]	Cena za 1 m ² [Kč]	Kompetentní matrice
0,38	500	500	1,76	585	epoxy

Volba matrice

Matrice byla zvolena z nabídky stejného výrobce jako tkanina zejména s ohledem na dostupnost a vhodnou kombinaci se zvolenou tkaninou. Jedná se laminační pryskyřici L 160, která je schválená k použití i pro výrobu letadel, zejména kluzáků, na které jsou stanoveny přísné požadavky na kvalitu dílů. Další výhodou této pryskyřice je možnost použití při laminování za studena i laminování s vytvrzením. Dále je do této pryskyřice možno přidávat tužidla, plniva a další aditiva jako jsou bavlněné vločky či kovový prášek.

Tabulka 7 Vlastnosti zvolené matrice [74]

Výrobce	Dodavatel	Označení	Hustota [g/cm ³]	Pevnost v tahu [MPa]	Pevnost v tlaku [MPa]
Momentive Specialty Chemicals B.V.	Havel Composites CZ, s.r.o.	L 160	1,2	80	130
Pevnost v ohybu [MPa]	Modul pružnosti [MPa]	Absorpce vody za 24 h			
120	3500	Max. 0,2			

Kombinovat s touto pryskyřicí je možné tužidla řad 160, 163 a 260S stejného výrobce. Ta se liší dobou, po kterou umožňují s dílem dále pracovat, než nastává vytvrzení. V tomto návrhu je počítáno s krátkou manipulací před vytvrzením, tudíž je pro kombinaci zvoleno tužidlo řady 160. dané tužidlo se s pryskyřicí míchá v hmotnostním poměru 100:25 či v případě objemového poměru 100:30. Tento poměr se mírně liší podle volené doby laminace, způsobu výroby s potřebným prosycením. Vysokotlaký způsob laminace se vyznačuje mírně vyšší potřebou obsahu pryskyřice. Přebytečná pryskyřice je vytlačena ven při stlačení. Z tohoto důvodu je nejvhodnější poměr 100:35 v objemových procentech a 100:40 v hmotnostních mírách. Tužidlo a pryskyřice bývají barevně odlišené. Je to kvůli jejich mísení, aby bylo viditelně poznat, kdy je matrice dostatečně promíchána. S mícháním je spojena další problematika a to je vznik tepla. Teplo vzniklé chemickou reakcí mezi pryskyřicí a tužidlem může být tak velké, že se nádoba může zahřát až na 200 °C, proto je nutné použít správný materiál nádoby.

Tabulka 8 Vlastnosti zvoleného tužidla [74]

Výrobce	Dodavatel	Označení	Hustota [g/cm ³]	Barva
Momentive Specialty Chemicals B.V.	Havel Composites CZ, s.r.o.	160	0,98	Modrá, průsvitná

Další složkou, která se společně s výztuží a matricí používá, je tzv. gelcoat. Je to speciální povrchová pryskyřice, která se nanáší do formy o tloušťce asi 1 mm. Pomocí gelcoatu je zajištěna kvalita vzniklého povrchu, protože jak kvalitní je povrch formy, tak kvalitní je povrch budoucího výrobku. Dále může být pomocí gelcoatů dána barva budoucího výrobku. Tento materiál se rozděluje do skupin podle teploty, kterou má snést při vytvrzování. [74]

Množství výztuže a matrice

Požadovaný objemový podíl vláken v kompozitu je 40 %. Tato hodnota je obvyklá pro uhlíkové kompozity. Pro výpočet potřebného množství a složení matrice je známá hustota vláken, pryskyřice a tužidlo z těchto hodnot jsou spočítány hmotnostní podíly v matrici a v celém kompozitu.

Hustota vláken: $\rho_v = 1,76 \text{ g/cm}^3$

Hustota pryskyřice: $\rho_p = 1,2 \text{ g/cm}^3$

Hustota tužidla: $\rho_t = 0,98 \text{ g/cm}^3$

Hustota matrice (pro poměr 100:40):

$$M_p = \frac{100}{140} = 0,71 \quad (1)$$

$$M_t = \frac{40}{140} = 0,29 \quad (2)$$

$$\rho_m = M_p \cdot \rho_p + M_t \cdot \rho_t = 0,71 \cdot 1,2 + 0,29 \cdot 0,98 = 1,14 \text{ g/cm}^3 \quad (3)$$

Objemový podíl vláken: $v_v = 0,4$

Objemový podíl matrice:

$$v_m = 1 - v_v = 1 - 0,4 = 0,6 \quad (4)$$

Hustota kompozitu:

$$\rho_k = \rho_v \cdot v_v + \rho_m \cdot v_m = 1,76 \cdot 0,4 + 1,14 \cdot 0,6 = 1,39 \text{ g/cm}^3 \quad (5)$$

Hmotnostní podíly vláken a matrice:

$$M_v = \frac{\rho_v}{\rho_k} \cdot v_v = \frac{1,76}{1,39} \cdot 0,4 = 0,51 \quad (6)$$

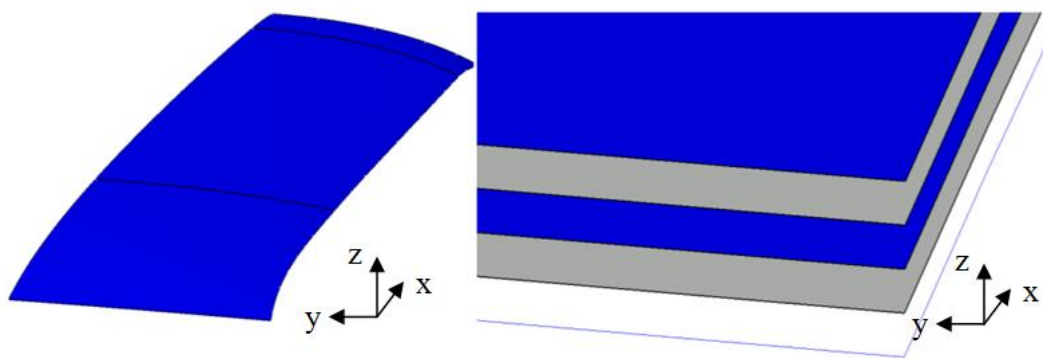
$$M_m = \frac{\rho_m}{\rho_k} \cdot v_m = \frac{1,14}{1,39} \cdot 0,6 = 0,49 \quad (7)$$

Tabulka 9 Množství tkaniny a matrice a jejího složení dle počtu vrstev

	Tkanina	Matrice	Pryskyřice	Tužidlo
Plošná hustota [g/m ²]	200	-	-	-
Plocha [m ²]	1	-	-	-
Hustota [g/cm ³]	1,76	1,14	1,2	0,98
Hmotnost [g] pro 2 vrstvy	400	384	273	111
Hmotnost [g] pro 4 vrstvy	800	769	546	223
Hmotnost [g] pro 6 vrstev	1200	1153	819	334

Vrstvy tkaniny

Pro daný návrh bylo uvažováno několik variant. Nakonec s ohledem na pracnost výroby, vlastnosti a možnost vytvoření sendvičové konstrukce byly zvoleny 4 vrstvy uvedené tkaniny pro všechny kompozitní díly. Zde byla zvolena jednodušší varianta vzájemného natočení vrstev, a to po 90° . To znamená, že první vrstva je pod úhlem 0° k podélné ose x, sousední vrstva je oproti ose pootočená o 90° a dále podobně. Na **Obrázek 56** je primární směr vrstvy rovnoběžný s osou x znázorněn modře a vrstva s kolmým směrem na osu x je šedá.



Obrázek 56 Směr vrstev použitého kompozitu

Pevnostní pěna

Pro danou konstrukci byla použita jako jádro sendvičové konstrukce speciální pevnostní pěna. Jedná se o polymerní pěnu s uzavřenými buňkami. Největší předností tohoto materiálu je kombinace vynikajícího poměru pevnosti k hmotnosti a velmi dobrou tuhostí. Mezi vhodné technologické vlastnosti patří minimální nasákavost vody a odolnost vůči chemikáliím. Materiál se nedrobí, jeho povrch je vhodný pro lepení většinou lepidel a pryskyřic. Navíc je tento materiál možné zpracovávat mnoha způsoby, jako jsou ruční kladení, vakuové prosycování a pomocí vstřikovacích metod RTM a to i za tepla. Z dalších vlastností lze jmenovat dobrou požární odolnost neboli samozhášivost, zvukovou a tepelnou izolaci. V současné době se tato pěna používá pro aplikace v lodním průmyslu, pro silniční a kolejová vozidla, lopatky rotorů větrných elektráren, výrobu sportovního vybavení a také v letectví a kosmonautice.

Tabulka 10 Parametry pevnostní pěny [74]

Výrobce	Dodavatel	Označení	Hustota [kg/m ³]	Pevnost v tahu [MPa]	Pevnost v tlaku [MPa]
Airex AG	Havel Composites CZ, s.r.o.	C70.40	40	0,7	0,45
Pevnost ve smyku [MPa]	Modul pružnosti v tahu [MPa]	Modul pružnosti ve smyku [MPa]			
0,45	28	13			

**Obrázek 57** Pevnostní pěna Airex C70 [74]

Přídavná vrstva

Aby byl interiér co nejméně narušen změnou konstrukce střechy, je možné na spodní plochu viditelnou z interiéru použít potahování klasicky používanou látkou. Jsou používané materiály jako semiš, mikroplyš a alcantara. Alcantara je zajímavý materiál. Ve své podstatě je to vláknový kompozit, se vzhledem semiše, je prodyšný, ohebný a dobře udržovatelný. Jeho nanášení je možné dvěma způsoby. Prvním a určitě vhodnějším způsobem pro tuto metodu by bylo zalaminování společně s uhlíkovou tkaninou. Ovšem vyvstává problém s narušením povrchu designového potahu vlivem působení teploty. Druhým způsobem je tzv. kaširování. Jedná se o metodu, která slouží pro potahování kovů, plastů a kompozitů látkovým potahem.

5.5 Náklady na materiál

Uhlíkový kompozit střešního panelu

Cena uhlíkového kompozitu se odvíjí od uhlíkové tkaniny a matrice. V kap. 5.4 jsou uvedeny množství tkaniny a matrice pro možné počty vrstev. Jak bylo již dříve zmíněno, byly zvoleny 4 vrstvy tkaniny. Jejich plocha byla zjištěna z počítačového modelu.

$$\text{Naměřená plocha pro 1 vrstvu vrchní část: } S_{1vs} = 1,682 \text{ m}^2$$

$$\text{Naměřená plocha pro 1 vrstvu spodní část: } S_{1ss} = 1,688 \text{ m}^2$$

$$\text{Celková plocha pro 1 vrstvu: } S_{1s} = S_{1vs} + S_{1ss} = 1,682 + 1,688 = 3,37 \text{ m}^2$$

$$\text{Celková plocha tkaniny pro 4 vrstvy: } S_{4s} = 4 \cdot S_{1s} = 4 \cdot 3,37 = 13,48 \text{ m}^2$$

$$\text{Hmotnost tkaniny: } m_{sv} = 2696 \text{ g}$$

$$\text{Hmotnost matrice: } m_{sm} = 2590 \text{ g}$$

$$\text{Cena tkaniny za 1 m}^2\text{: } C_{v1} = 585 \text{ Kč}$$

$$\text{Cena matrice za 1 kg: } C_{m1} = 422 \text{ Kč}$$

$$\text{Cena tkaniny: } C_{sv} = S_{4s} \cdot C_{v1} = 13,48 \cdot 585 = 7886 \text{ Kč}$$

$$\text{Cena matrice: } C_{sm} = m_{sm} \cdot C_{m1} = 2,590 \cdot 422 = 1093 \text{ Kč}$$

Uhlíkový kompozit podélníků

$$\text{Naměřená plocha pro 1 vrstvu vrchní část: } S_{1vp} = 0,243 \text{ m}^2$$

$$\text{Naměřená plocha pro 1 vrstvu spodní část: } S_{1sp} = 0,163 \text{ m}^2$$

$$\text{Celková plocha pro 1 vrstvu: } S_{1s} = S_{1vp} + S_{1sp} = 0,243 + 0,163 = 0,406 \text{ m}^2$$

Celková plocha tkaniny pro 4 vrstvy a dva kusy:

$$S_{4p} = 2 \cdot 4 \cdot S_{1s} = 2 \cdot 4 \cdot 0,406 = 3,248 \text{ m}^2$$

$$\text{Hmotnost tkaniny: } m_{pv} = 650 \text{ g}$$

$$\text{Hmotnost matrice: } m_{pm} = 625 \text{ g}$$

$$\text{Cena tkaniny: } C_{pv} = S_{4p} \cdot C_{v1} = 3,248 \cdot 585 = 1900 \text{ Kč}$$

$$\text{Cena matrice: } C_{pm} = m_{pm} \cdot C_{m1} = 0,625 \cdot 422 = 264 \text{ Kč}$$

Pevnostní pěna

Naměřený objem pro střešní panel: $V_{ps} = 0,073 \text{ m}^3$

Naměřený objem pro dva podélníky: $V_{pp} = 0,003 \text{ m}^3$

Celkový objem pěny: $V_p = V_{ps} + V_{pp} = 0,073 + 0,003 = 0,076 \text{ m}^3$

Cena pěny 20 mm za 1 m^2 : $C_{1p} = 320 \text{ Kč}$

Cena pěny: $C_p = \frac{V_p}{t} \cdot C_{1p} = \frac{0,076}{0,02} \cdot 320 = 1216 \text{ Kč}$

Lepidlo

Odhadnuté množství lepidla dle lepicího plánu:

$$m_L = 163,9 + 160,5 + 50,5 + 188,7 = 563,6 \text{ g}$$

Cena lepidla: $C_L = m_L \cdot C_{1L} = 0,5636 \cdot 350 = 198 \text{ Kč}$

Celkové na materiál

$$\begin{aligned} C_{celk} &= C_{sv} + C_{sm} + C_{pv} + C_{pm} + C_p + C_L = \\ &= 7886 + 1093 + 1900 + 264 + 1216 + 198 = 12557 \text{ Kč} \end{aligned}$$

Tabulka 11 Poměrná cena jednotlivých materiálů

Materiál	Cena [Kč]	Podíl na celkové ceně [%]
Uhlíková tkanina	9789	77
Matrice	1357	11
Pevnostní pěna	1216	10
Lepidlo	198	2
CELEK	12557	100

5.6 Forma

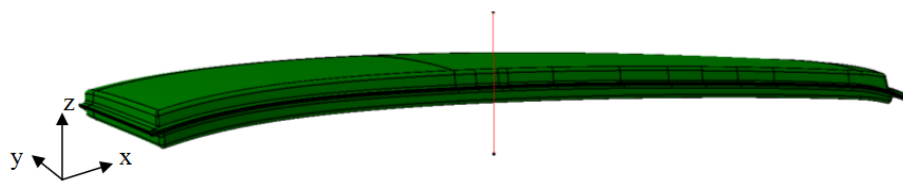
Forma pro tuto výrobu může být hliníková, či ocelová. Kovové formy umožňují aplikaci vyhřívání, tudíž umožňují zrychlení procesu. Tyto dvoudílné formy jsou vyráběné třískovým obráběním. V dnešní době je to převážně pomocí CNC metod, vzhledem ke tvarovým předpokladům vychází nejlépe frézování. Po získání základních zkušeností může formy vyrábět většina firem vybavených potřebnou technologií.

Důležitým parametrem při provozu je životnost forem. Ta se liší podle technologie výroby. Rozdíl je zejména v tlaku, který je během výroby vyvíjen. Čím vyšší tlak, tím jsou nároky na formu větší, především v těsnosti.

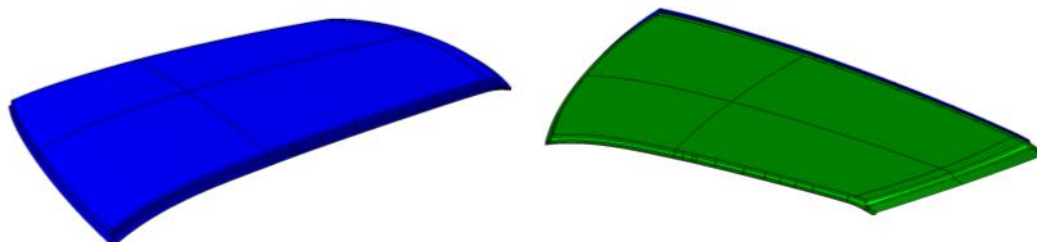
Pro zvolenou metodu je nutné mít formy správně přizpůsobené. V první řadě je nutné zajistit působení tlakové síly na formy. To je provedeno instalací formy do lisu, který je schopen vyvinout tlak odpovídající až padesáti tunám. Další potřebné příslušenství formy je přívod a odvod roztoku matrice a podtlakový ejektor. Právě utěsnění a vhodné umístění plnicích kanálů je největším problémem tlakové výroby laminátů.

Dalším hlediskem je potřebný počet forem. Ten se odvíjí od procentuálního nasazení výrobku do daného modelu automobilu. Při úvaze výroby 720 automobilů za celý den, což je 30 kusů za hodinu. Při uvažované době 1 hodiny výroby jednoho dílu vychází, že bude potřeba pro sériovou výrobu 30 forem. Daný počet forem je ale nutný pro každý díl. To je velmi vysoký počet, proto je nutné zkrácení výrobního času. To se provede pomocí mírného zvýšení teploty ve formě. Díky tomu je lze možné čas zkrátit až na 15 minut. V tom případě by se počet forem snížil na čtvrtinu, což je 8 kusů forem pro každý díl. Další ušetření je možné sdružením více výrobků do jedné formy. Minimálně by se jednalo o díl pro levou a pravou stranu.

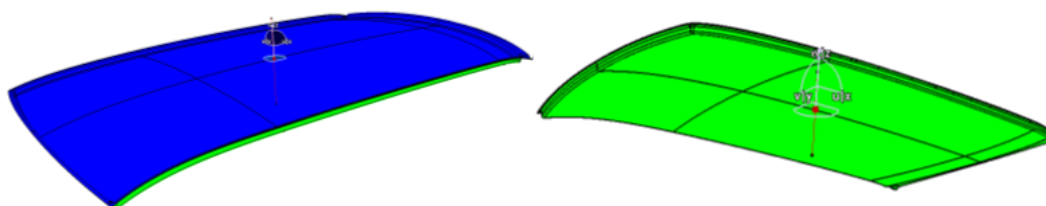
Formovací směr je směr, který určuje linii pohybu formovacího nářadí. V závislosti na tomto směru musí být vyráběná součást opatřena úkosy, aby bylo možné ji po vylisování vyjmout z formy. Formovací směr se v modelování označuje červenou úsečkou, viz **Obrázek 58**. Tato úsečka je dále použita pro tzv. draftová či úkosová analýza. Ta právě kontroluje vyrobiteľnost dílů. Pro tuto analýzu byl panel rozdělen na dvě části v dělicí rovině, protože vrchní a spodní vrstvy kolem pěny mají opačný úkos.



Obrázek 58 Formovací směr pro střešní panel



Obrázek 59 Draftová analýza vrchní vrstvy



Obrázek 60 Draftová analýza spodní vrstvy

5.7 Vliv na výrobní proces

5.7.1 Montážní linka

Při aplikaci kompozitního střešního panelu dojde ke změnám ve výrobním procesu. Nejvýraznější změna nastane, kdy je místo svařování konstrukce aplikován lepený díl. Další změnou je složitější výroba samotného střešního panelu. Rozdíl nastává s délkou procesu. V případě plechového výlisku je použito pouhého lisování téměř jedním tahem, musí být u laminátového dílu nutné použít déle trvající proces ukládání do formy, lisování a vytvrzování. Při uvažované kapacitě výrobní linky o 30 automobilech za hodinu, osazením všech kusů kompozitním dílem a výrobě jednoho dílu za 1 hodinu to znamená, že je potřeba pořídit 30 výrobních forem. Vzhledem k počtu forem je také nutný prostor pro jejich uložení.

V návaznosti na toto je do značné míry omezena integrace do současné výrobní linky a přichází možnost dopravy na montážní místo pomocí dopravníku.

5.7.2 Spojení navrženého dílu se současnou konstrukcí

Komplet střešního panelu, vrchního a spodního podélníku bude ke zbytku konstrukce přilepen stejným lepidlem, jakým je sám pojen. To přináší výhodu v jednotném spojovacím materiálu, úsporu při objednávání větších množství a jednoduchost pro obsluhu. Vybrané lepidlo je schopné kvalitně slepit jak vzájemně plasty, tak i plasty a tím pádem i uhlíkový kompozit s ocelovým dílem. V posledním jmenovaném případě je nutné brát ohled na různou tepelnou roztažnost materiálů, proto pokud není nutný těsný spoj, je lepší nanášet lepidlo přerušovaně pro možnost dilatace.

5.7.3 Lakování

Po kompletní montáži je další operací lakování. Prvním úpravou před lakováním je odmaštění. To je prováděno ponořením karoserie, ze které byly předem odmontovány panelové díly, do čistícího roztoku. Ten je ze sloučenin fosforu. Kromě odmaštění také vytvoří další ochrannou vrstvu na plechu. Po této operaci se automobil přesune do sušičky, zde se ohřeje přibližně na 200 °C a tím se ochranná vrstva ustálí. Dalším postupem je nanášení tmelů, plniče, barvy a laku. Mezi těmito činnostmi vždy karoserie zamíří do sušičky. Zvolené lepidlo má zaručenou odolnost do 250 °C a odolnosti pro silnější kyselinám a hydroxidům. Díky tomuto by neměl v tomto ohledu nastat problém s kompozitním dílem. Pro možnost lakování na klasické lince je také nutná podmínka elektrické vodivosti a povrchového odporu celku karoserie. Uhlíkové vlákno je o sobě je elektricky vodivé, ale pro dokonalé zajištění je do matrice přidáno aditivum. [72], [73]

5.7.4 Montáž interiéru

Na montáž interiéru nebude mít konstrukční změna až takový vliv. Změna nastane hlavně u montáže vnitřní stropnice. Montáž tohoto dílu odpadne, jelikož je nahrazen celým dílem. Do této části jsou rovněž integrovány držáky na interiérové příslušenství.

5.8 Ekonomické zhodnocení

V případě jednoduchého porovnání je cena ocelového plechu o ploše 1 m² o tloušťce 2 mm přibližně 400 Kč. Cena kompozitu složeného z uhlíkové textilie a epoxidové pryskyřice je při 7 vrstvách, který dá tloušťku přibližně také 2 mm, 4500 Kč za 1 m². V tomto ovšem

nejsou uvedeny, jak již bylo řečeno, náklady na výrobu, tj. zejména na vynaloženou elektrickou energii během výrobního procesu.

Další náklady jsou na pořízení samotné výrobní linky. Největší investicí jsou bezpochyby komplety vyhřívané formy umožňující vytvrnutí kompozitu. Do nákladů na tyto formy je samozřejmě nutné zanést veškeré příslušenství, jako je hydraulické zařízení pro stlačení formy, přívody matrice, vyvíječe podtlaku, prostředky pro ošetřování forem a další náklady na údržbu a provoz. Dále je nutné zahrnout také prostředky na plánování výrobní linky, její simulaci v digitální továrně a počítačovou konstrukci.

5.9 Vliv na praktické používání

5.9.1 Rosení a kondenzace

Vlivem změny teploty uvnitř automobilu oproti vnějšímu prostředí na některých materiálech dochází ke kondenzaci vodní páry. V případě uhlíkového kompozitu je toto minimalizováno vlivem nízké teplotní vodivosti v porovnání s ocelí či hliníkem. Z tohoto důvodu se případná kondenzace nebude vytvářet na kompozitním dílu, ale na kovovém.

5.9.2 Poškození povětrnostními vlivy

Jelikož se jedná o konstrukci pro venkovní aplikaci, je důležitá odolnost proti působení venkovního prostředí. Samotnými vlivy jsou UV záření, dešťové a sněhové či kroupové přeháňky. Pro ochranu proti UV záření je nutné provést úpravu přidáním aditiva při výrobě kompozitu. Odolnost proti přeháňkám je zajištěna spojitostí matrice resp. celkového produktu. Odolnost proti kroupám a ostatnímu rázovému namáhání je zajištěna díky vysoké pružnosti materiálu. Naopak může být mírně snížená odolnost proti ostrým předmětům a poškrábání od nich. Avšak jedná se o střešní konstrukci, tak není předpoklad tohoto opotřebování.

5.9.3 Změny teplot

Změna teploty může být sledována ze dvou hledisek. Prvním z nich je změna teploty samotného dílu. Tato změna je rychlejší než u kovových dílů díky nižší tepelné kapacitě. Druhým hlediskem je rozdíl teplot uvnitř kabiny a v okolí automobilu. Kvůli nižší tepelné vodivosti je přestup tepla pomalejší. Proto bude vytápění automobilu mírně rychlejší a naopak ohřívání či ochlazování interiéru od okolní teploty pomalejší.

5.9.4 Odhlučnění

Pohlčení zvukových vjemů lze obtížněji posoudit. Pro odhlučnění je v klasické konstrukci používají výplně. Kompozitní materiál má vzhledem ke své konstrukci mírně lepší předpoklad. Dále je tento problém možné řešit pomocí sendvičových konstrukcí s tlumícím materiálem.

5.9.5 Vibrace karoserie

Proti vibracím je uhlíkový kompozit odolnější než ocelový plech. Právě odolnost uhlíku proti vibracím je důvod, proč je například litina v tomto parametru lepší než ocel.

6 Závěr

V rámci konstrukční části této práce byla navržena sestava střechy pro osobní automobil. Toto řešení se skládá z pěti částí z uhlíkového kompozitu a třech částí z pevnostní pěny, která slouží jako zpevňující jádro. Jako výrobní postup byla zvolena metoda tlakového vstřikování matrice do formy s uhlíkovou tkaninou. Navržená konstrukce se nejdříve spojí pomocí metakrylátového lepidla dohromady. Poté je robotem umístěna a přilepena stejným lepidlem na své místo v zástavbě automobilu. Zvolené řešení s sebou přináší výhody zejména v mechanických vlastnostech. Tyto vlastnosti jsou zároveň zajištěny při nízké hmotnosti střešního dílu. Dalšími výhodami jsou dobrá tepelná izolace, odolnost pro povětrnostním podmínkám a případně zlepšení vzhledu. Nevýhodami jsou obtížné včlenění této modifikace do současné svařovací linky. Další nevýhodou je komplikace stávajících operací jako je lakování či svařování, kdy je nutné dbát na jiné vlastnosti a to zejména na nižší teplotu tání.

Ekonomický aspekt celého návrhu je asi největším kritériem pro jeho možnou aplikaci. A nejspíše je nutno říci, že je i největší překážkou. V dnešní době je ocel velice rozšířená, je možné ji zušlechtit na velmi dobré vlastnosti, zejména mechanické, a proto najít materiál, který bude o tolik lepší a výhodnější i směrem ke své vyšší ceně je velmi problematické. Vývoj moderních kompozitů probíhá už několik desítek let, ale stále hraje v průmyslu prim ocel. Kompozity, hlavně uhlíkové kompozity, jsou vnímány jako výjimečný materiál pro speciální aplikace. Ale časem bude jejich aplikace rozšiřovat a kompozity se budou objevovat v běžnějších věcech. V rámci finanční analýzy byla vyčíslena cena materiálu potřebného pro výrobu na 12 557 Kč. K této hodnotě je nutné přidat další náklady na pořízení, či přeprogramování výrobní linky a jejímu provozu.

Zavedení této nebo obdobné konstrukce není rozhodně vyloučené, avšak nejvhodnější by bylo integraci provést zároveň se stavbou nové linky. Dnes se uhlíkové vlákno dostává stále do levnějších modelů automobilek a proto je téměř jistý jeho další rozmach.

Seznam použité literatury

- [1] Kompozity [online]. Dostupné z www:
<http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_bakalari/NOM2/NOM2.htm>
- [2] Kompozitní materiál [online]. Dostupné z www:
<https://cs.wikipedia.org/wiki/Kompozitn%C3%AD_materi%C3%A1l>
- [3] Kompozitní materiály přehled [online]. Dostupné z www:
<<https://www.pf.jcu.cz/structure/departments/kaft/wp-content/uploads/Kompozitn%C3%AD-materi%C3%A1ly.pdf>>
- [4] The properties of carbon fiber reinforced aluminum composites [online]. Dostupné z www:
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040609077902474>>
- [5] Kompozitní materiály s kovovou maticí [online]. Dostupné z www:
<http://147.33.74.135/knihy/uid_isbn-80-7080-600-1/pdf/152.pdf>
- [6] Kompozitní materiály [online]. Dostupné z www:
<http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmtbakalari/ZMI/06kompozityzmi.pdf>
- [7] Kompozitní materiály, definice a rozdělení [online]. Dostupné z www:
<http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/KM/Kompozity%20Dad/02defrozd.pdf>
- [8] DAĐOUREK, Karel. *Kompozitní materiály – modely a vlastnosti*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN 80-7083-972-4
- [9] DAĐOUREK, Karel. *Kompozitní materiály – druhy a jejich využití*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN 978-80-7372-279-1
- [10] Anizotropie [online]. Dostupné z www:
<https://cs.wikipedia.org/wiki/Anizotropie#Re.C3.A1ln.C3.BD_sv.C4.9Bt>
- [11] Kovové pěny [online]. Dostupné z www:
<<http://www.zlepsisitechniku.cz/technicke-vychytavky/kovove-peny/>>
- [12] Výrobky z hliníkové pěny [online]. Dostupné z www:
<<http://www.mmspektrum.com/clanek/vyrobky-z-hlinikove-peny.html>>
- [13] Aerogel [online]. Dostupné z www:
< <https://cs.wikipedia.org/wiki/Aerogel> >
- [14] Aerogely [online]. Dostupné z www:
< <http://www.izolace-aerogel.cz/>>

- [15] RT Isolazioni [online]. Dostupné z www:
<<http://www.rtisolazioni.com/characteristics.php>>
- [16] MMC – kompozity s kovovou maticí [online]. Dostupné z www:
< https://nanoed.tul.cz/pluginfile.php/3593/mod_folder/content/0/MMC.pdf?forcedownload=1. >
- [17] PMC – kompozity s plastovou maticí [online]. Dostupné z www:
<https://nanoed.tul.cz/pluginfile.php/3594/mod_resource/content/1/PMC.pdf>
- [18] Matrice vláknových kompozitů [online]. Dostupné z www:
<https://cs.wikipedia.org/wiki/Matrice_vl%C3%A1knov%C3%BDch_kompozit%C5%AF>
- [19] CMC – kompozity s keramickou maticí [online]. Dostupné z www:
<https://nanoed.tul.cz/pluginfile.php/3592/mod_resource/content/5/CMC.pdf>
- [20] Kompozitní materiály, porovnání vlastností [online]. Dostupné z www:
<http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/KM/Kompozity%20Dad/01porovnavani.pdf>
- [21] VLK, František. *Koncepce motorových vozidel: Koncepce vozidel : Alternativní pohony : Komfortní systémy : Řízení dynamiky : Informační systémy*. Brno: VLK, 2000. ISBN 80-238-5276-0
- [22] Dopravní a manipulační technika [online]. Dostupné z www:
<http://old.kvm.tul.cz/studenti/texty/Dopravni_technika/P_DT_1.pdf>
- [23] Autofotka týdne: Neskonalý luxus, který nikdo nechce [online].
Dostupné z www: <http://auto.idnes.cz/v-praze-je-vystaveny-maybach-landaulet-dyr-/automoto.aspx?c=A120504_152618_automoto_fdv>
- [24] Karoserie osobních automobilů [online]. Dostupné z www:
<http://www.sossoukyjov.cz/data/file/K_techologie/VY_32_INOVACE_3c/VY_32_INOVACE_3c12.pdf>
- [25] Od trakaře po landaulet: průvodce karosářským názvoslovím, díl 3.[online].
Dostupné z www: <<http://www.autoweb.cz/od-trakare-po-landaulet-pruvodce-karosarskym-nazvoslovim-dil-3/>>
- [26] Obrázky google.com [online]. Dostupné z www:
<<http://www.veteranskoda.cz/galerie/skoda-octavia-985-tudor/P1140002.JPG>>

- [27] Obrázky google.com [online]. Dostupné z www:
<<http://st.automobilemag.com/uploads/sites/10/2016/10/2017-volkswagen-passat-sel-premium-auto-sedan-side-view.png>>
- [28] Obrázky google.com [online]. Dostupné z www:
<<http://1001carreviews.com/wp-content/gallery/skoda-fabia-2015-2016/Skoda-Fabia-2015-2016-profile.jpg>>
- [29] Obrázky google.com [online]. Dostupné z www:
<<http://www.forcegt.com/wp-content/uploads/2014/03/Skoda-Octavia-RS-sedan-side.jpg>>
- [30] Obrázky google.com [online]. Dostupné z www:
<<http://avtovesti.com/wp-content/uploads/2015/05/skoda-octavia-combi-rs-230.jpg>>
- [31] Obrázky google.com [online]. Dostupné z www:
<http://www.mazda.ie/assets/master/cars/cx-5/general/2015_cx-5_overview_gallery_pictures/CX-5_GE_High_Side_960x540.png>
- [32] Obrázky google.com [online]. Dostupné z www:
<<http://images.newcars.com/images/car-pictures/original/2013-Nissan-370Z-Coupe-Hatchback-Base-2dr-Coupe-Photo-6.png>>
- [33] Obrázky google.com [online]. Dostupné z www:
<<http://www.carbodydesign.com/archive/2009/09/17-rolls-royce-ghost/Rolls-Royce-Ghost-7-lg.jpg>>
- [34] Obrázky google.com [online]. Dostupné z www:
<<http://zero2sixtyride.com/pics/limosideview.jpg>>
- [35] Obrázky google.com [online]. Dostupné z www:
<<https://www.orangewheels.co.uk/system/overrides/20667/large/VW-Sharan.png?1406631942>>
- [36] Obrázky google.com [online]. Dostupné z www:
<<http://st.automobilemag.com/uploads/sites/10/2016/05/2016-jeep-wrangler-rubicon-suv-side-view.png>>
- [37] Obrázky google.com [online]. Dostupné z www:
<https://preview.netcarshow.com/Alfa_Romeo-Brera-2005-1600-27.jpg>

- [38] Obrázky google.com [online]. Dostupné z www:
<https://www.lacneautodiely.sk/resize.php?obrazok=images/model_logo/0908KBLGVA2015.jpg&sirka=0&vyska=130&mime=image/jpeg>
- [39] Obrázky google.com [online]. Dostupné z www:
<<http://st.automobilemag.com/uploads/sites/10/2015/11/2011-volkswagen-eos-lux-dsg-sulev-convertible-side-view.png>>
- [40] Obrázky google.com [online]. Dostupné z www:
<<http://srv2.betterparts.org/images/citroen-2cv-06.jpg>>
- [41] Obrázky google.com [online]. Dostupné z www:
<<http://img.mediacentrum.sk/gallery/600/866377.jpg>>
- [42] Obrázky google.com [online]. Dostupné z www:
<<http://www.automotivetimes.com/wp-content/uploads/2014/04/2014-audi-tt-roadster-exterior.jpg>>
- [43] Obrázky google.com [online]. Dostupné z www:
<<http://st.automobilemag.com/uploads/sites/10/2015/11/2008-audi-tt-2.0-t-with-s-tronic-convertible-side-view.png>>
- [44] Obrázky google.com [online]. Dostupné z www:
<<http://autonews.uk.com/wp-content/uploads/2015/05/model.png>>
- [45] Obrázky google.com [online]. Dostupné z www:
<http://o.aolcdn.com/dims-global/dims3/GLOB/legacy_thumbnail/750x422/quality/95/http://www.blogcdn.com/www.autoblog.com/media/2011/06/05-lexus-ls-600h-l-landaulet.jpg>
- [46] Obrázky google.com [online]. Dostupné z www:
<<http://img-1.newatlas.com/2016-robert-white-collection-bonhams-auction-31.jpg?auto=format%2Ccompress&fit=max&h=670&q=60&w=1000&s=fe91fbfa2085e9ae25c2c1c26bb13562>>
- [47] Obrázky google.com [online]. Dostupné z www:
<<http://mafia.czech-games.net/Laurint a Klement 120 faeton %281925-28%29.jpg>>
- [48] Webasto feel the drive [online]. Dostupné z www:
< <https://www.webasto.com/cz/produkty-trhy/auto/stresni-okna-k-zastavbe/stresni-okna/vyklopne-okno/>>

- [49] Autosklo TS [online]. Dostupné z www:
<<http://www.autosklots.cz/stresni-auto-okna>>
- [50] Webasto feel the drive [online]. Dostupné z www:
< <https://www.webasto.com/cz/produkty-trhy/auto/klasicke-stresni-systemy/panoramaticke-strechy/>>
- [51] BMW fans [online]. Dostupné z www:
<http://cz.bmwfans.info/parts-catalog/F25/Europe/X3_28iX-N20/browse/sliding_roof_folding_top/electric_panoramic_roof/>
- [52] Targa top [online]. Dostupné z www:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Targa_top#cite_note-4>
- [53] Obrázky google.com [online]. Dostupné z www:
<<https://www.google.cz/imgres?imgurl=http%3A%2F%2F>>
- [54] Obrázky google.com [online]. Dostupné z www:
<<https://www.youtube.com/watch?v=bYnOiWI4Qcs>>
- [55] Obrázky google.com [online]. Dostupné z www:
<http://pictures.topspeed.com/IMG/crop/200512/2005-ferrari-575m-superam-8_600x0w.jpg>
- [56] Kompozitní materiály na bázi uhlíkových vláken[online]. Dostupné z www:
<https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=54627>
- [57] Technologie výroby a zpracování uhlíkových kompozitů [online]. Dostupné z www:
<https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=84979>
- [58] Vláknové kompozitní materiály, jejich vlastnosti a výroba [online]. Dostupné z www:
<http://www.kompozity.info/seminar/2_seminar/1_materialy_technologie.pdf>
- [59] Uhlíkové vlákno [online]. Dostupné z www:
<https://cs.wikipedia.org/wiki/Uhl%C3%ADkov%C3%A9_vl%C3%A1kno>
- [60] Chemická vlákna [online]. Dostupné z www:
<<http://www.skolatextilu.cz/elearning/465/textilni-terminologie-zboziznalstvi/vlakna-prize-a-nite/Chemicka-vlakna.html>>

- [61] Uhlíková vlákna – karbonové kompozity [online]. Dostupné z www:
< <http://www.duratec.cz/cs/techinfo/pouzivane-materialy/uhlikova-vlakna-karbonove-kompozity/> >
- [62] Polymerní nanomateriály [online]. Dostupné z www:
<<http://slideplayer.cz/slide/4157071/>>
- [63] How it's made: Carbon fibre [online]. Dostupné z www:
<<https://www.youtube.com/watch?v=ki1aCdkMSeo>>
- [64] Prepreg [online]. Dostupné z www:
<<https://cs.wikipedia.org/wiki/Prepreg>>
- [65] Megatovárny – Lexus LFA[online]. Dostupné z www:
< <https://www.youtube.com/watch?v=rIC687DIzXg&t=790s> >
- [66] Carbonstar [online]. Dostupné z www:
<http://www.carbonstar.cz/eshop.html?page=shop.browse&category_id=26>
- [67] Obrázky google.com [online]. Dostupné z www:
<[http://i.ebayimg.com/00/s/NTY3WDU2OQ==/z/cgcAAOSwv0tVC1Vg/\\$_1.JPG?set_id=2](http://i.ebayimg.com/00/s/NTY3WDU2OQ==/z/cgcAAOSwv0tVC1Vg/$_1.JPG?set_id=2)>
- [68] Problémy při obrábění kompozitních materiálů [online]. Dostupné z www:
< <http://www.mmspektrum.com/clanek/problemy-pri-obrabeni-kompozitnich-materialu.html> >
- [69] Plasty pro stavebnictví a architekturu 7 [online]. Dostupné z www:
<http://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/materialy/plasty-pro-stavebnictvi-a-architekturu-7-polymerni-vlaknove-kompozity_101437.html>
- [70] Použití kompozitních materiálů v automobilovém průmyslu[online].
Dostupné z www:
<https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=52257>
- [71] Uhlíkové tkaniny [online]. Dostupné z www:
<<http://www.havel-composites.com/shop/44-TKANINY-Klasicke/0-list.html>>
- [72] Lakování krok za krokem [online]. Dostupné z www:
<<http://www.autolakovna.cz/?strana=lakovani-krok-za-krokem>>
- [73] Povrcháři, online časopis [online]. Dostupné z www:
<http://www.povrchari.cz/kestazeni/201002_povrchari.pdf >

- [74] Havel Composites CZ, s.r.o.[online]. Dostupné z www:
<<http://www.havel-composites.com>>

Seznam příloh

Příloha č. 1 – Lepicí plán

Příloha č. 2 – Výkresová dokumentace: Rozpad dílů

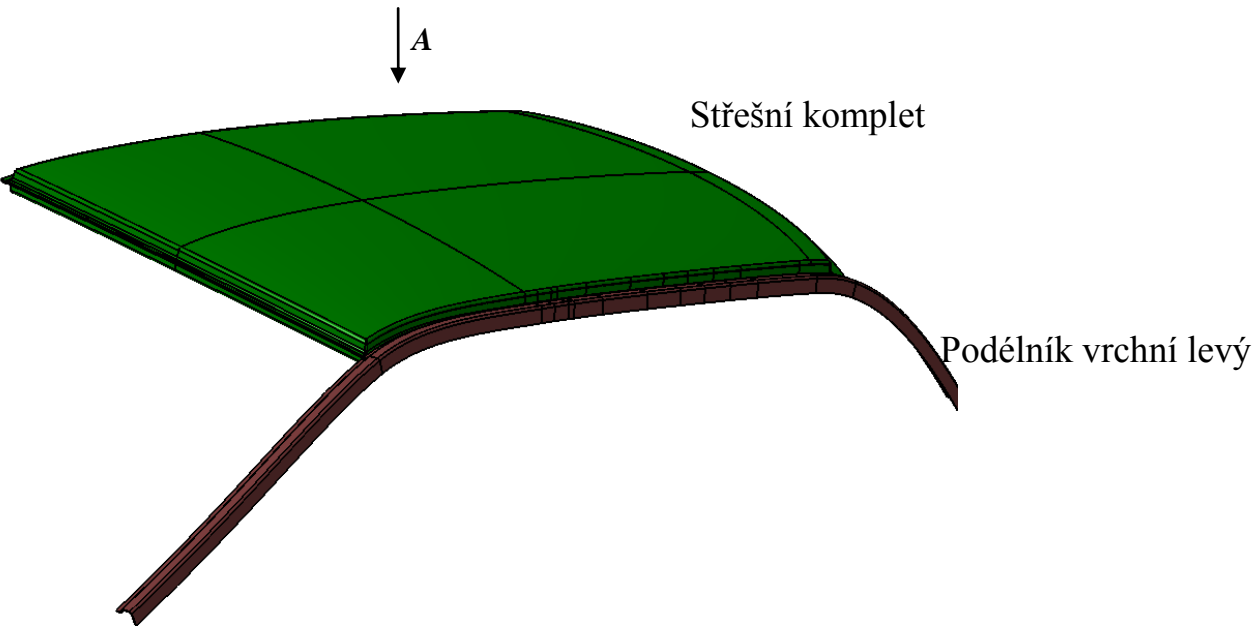
Příloha č. 3 – Výkresová dokumentace: Podélník vrchní levý

Příloha č. 4 – Výkresová dokumentace: Podélník spodní levý

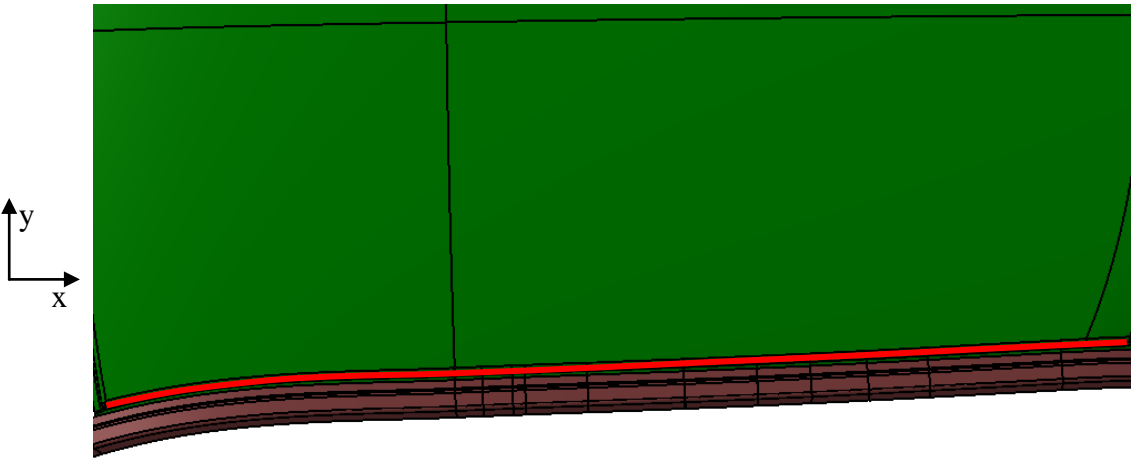
Příloha č. 5 – Výkresová dokumentace: Střešní panel

Lepicí plán

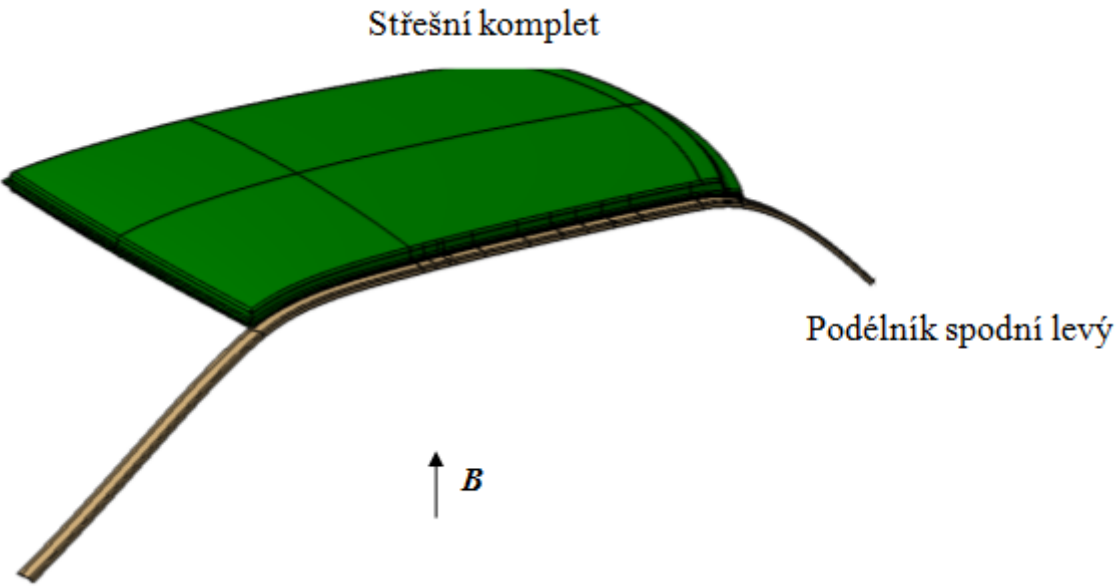
Skupina 01



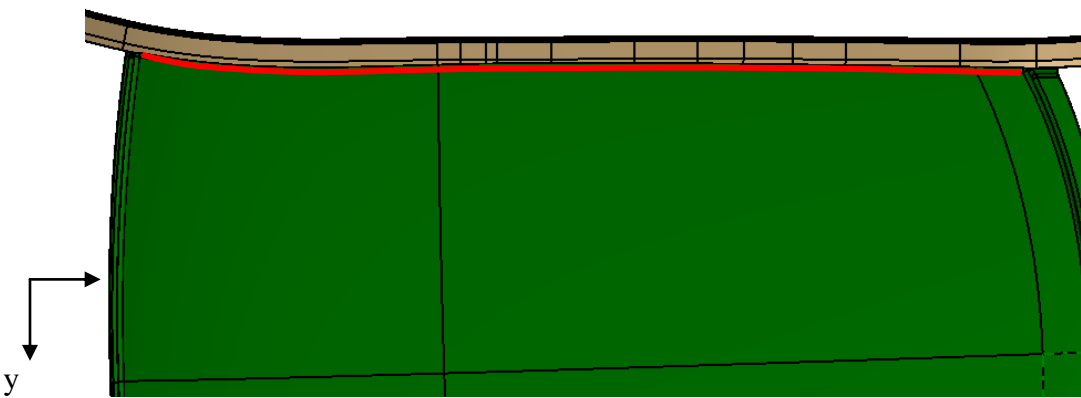
Pohled A



Skupina 02



Pohled B



Skupina	Spojené díly	Souřadnice počátku nanášení			Lepidlo			
		x [mm]	y [mm]	z [mm]	Typ	Délka [mm]	Objem [cm ³]	Hmotnost [g]
01	Střešní komplet	1120	- 535	1096	SA 1-15A	1450	163,9	163,9
	Podélník vrchní							
02	Střešní komplet	1125	- 543	1092	SA 1-15A	1420	160,5	160,5
	Podélník spodní							

Skupina 03

Podélník vrchní levý

Podélník spodní levý

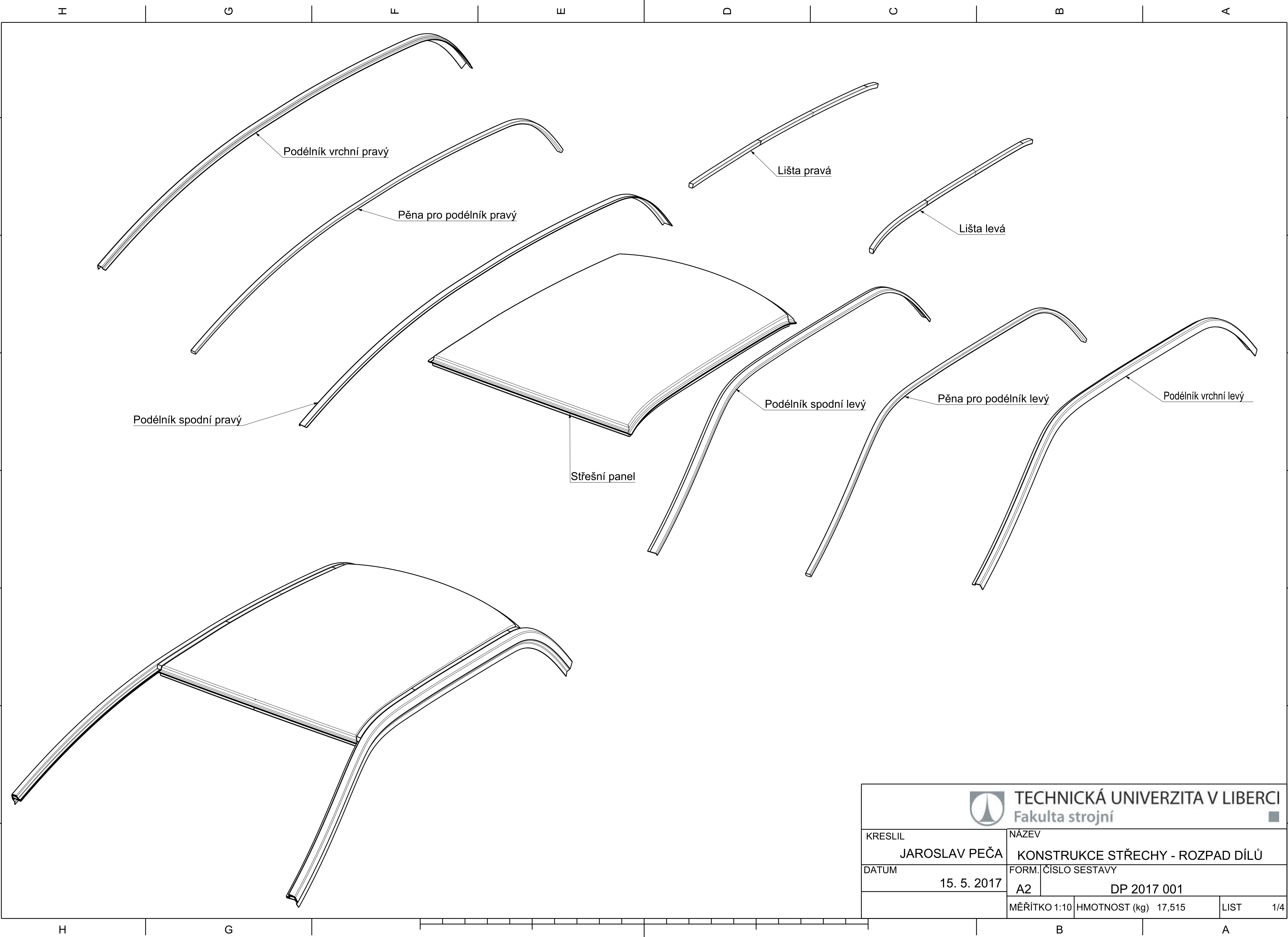
 C *Pohled C***Skupina 04**

Podélník vrchní levý

Postranice vnitřní

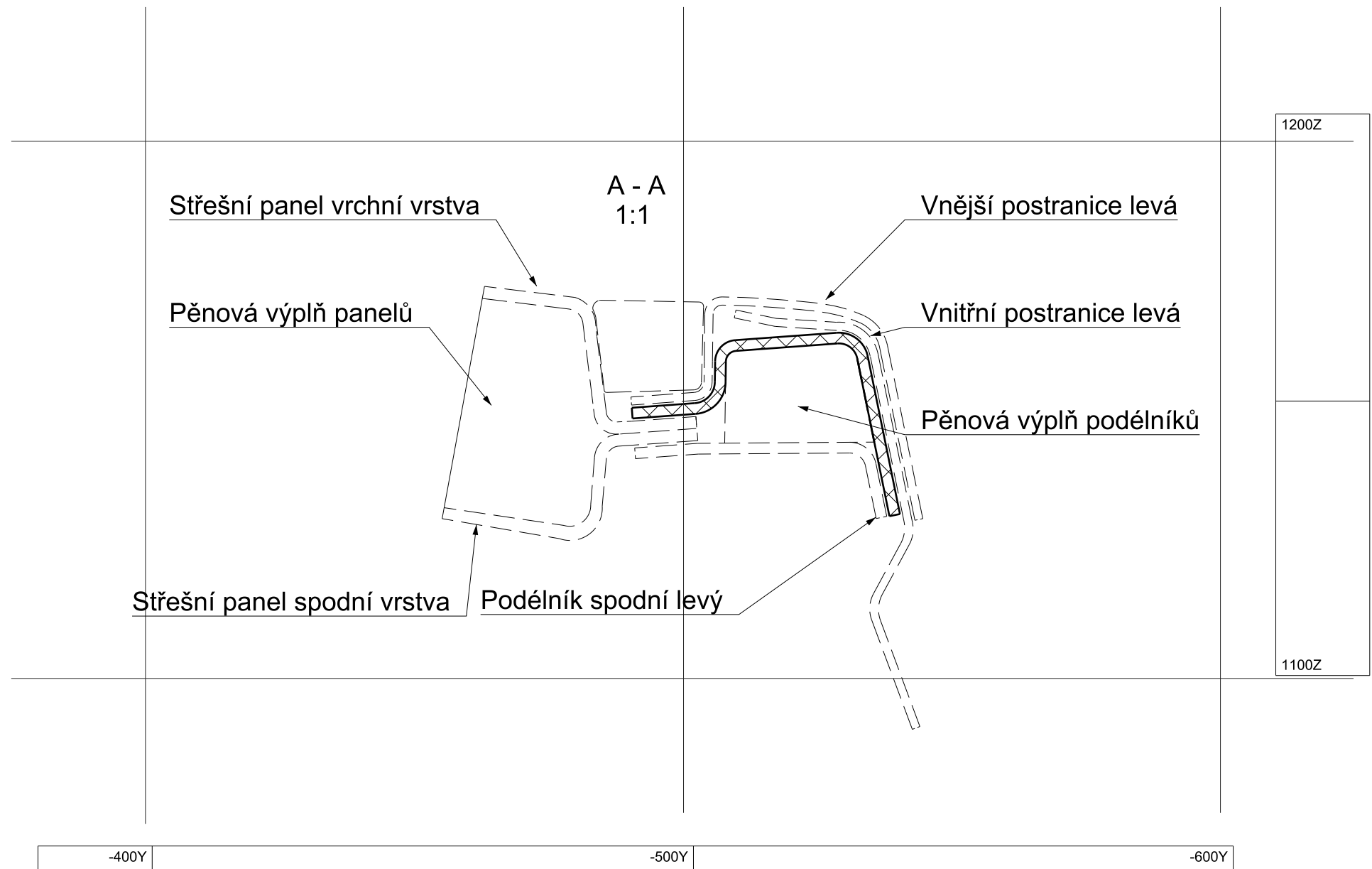
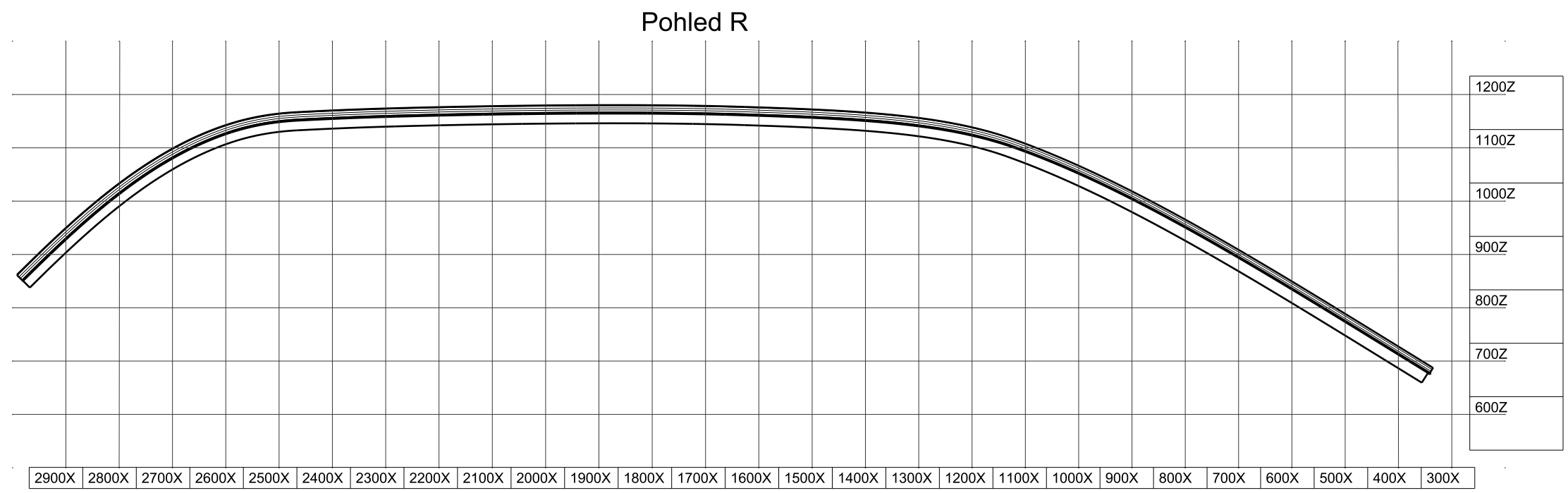
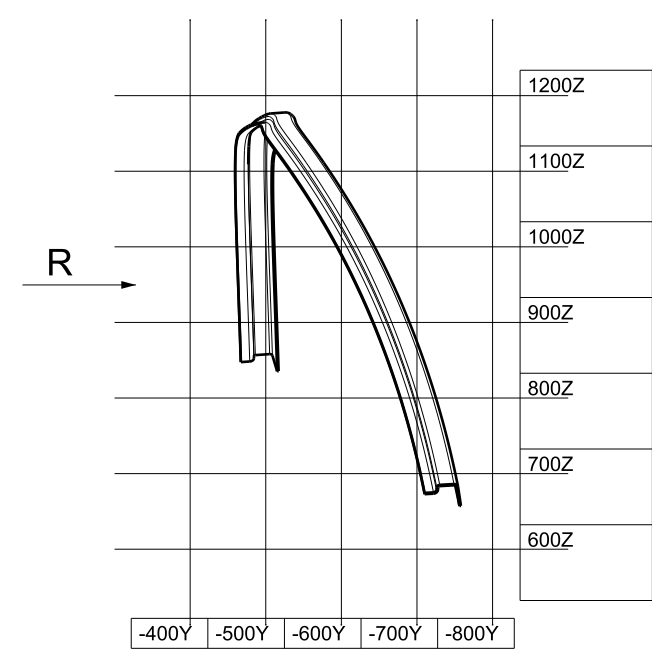
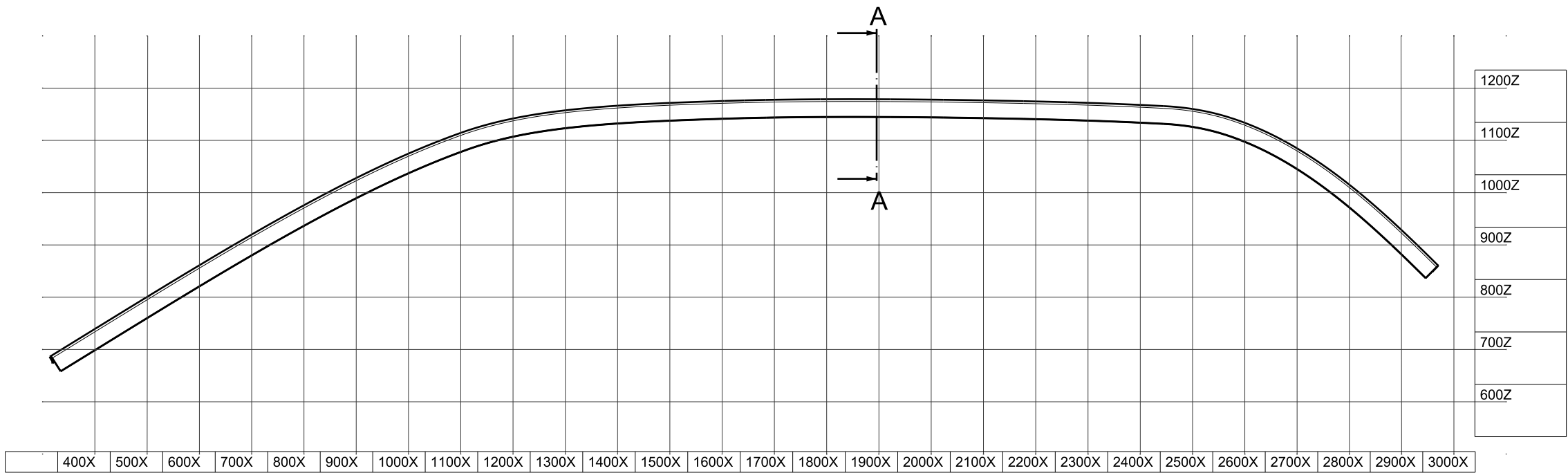
z
xz
x

Skupina	Spojené díly	Souřadnice počátku nanášení			Lepidlo			
		x [mm]	y [mm]	z [mm]	Typ	Délka [mm]	Objem [cm ³]	Hmotnost [g]
03	Podélník vrchní	343	- 753	658	SA 1-15A	500	56,5	56,5
	Podélník spodní							
04	Střešní sestava	345	- 754	665	SA 1-15A	1670	188,7	188,7
	Postranice vnitřní							

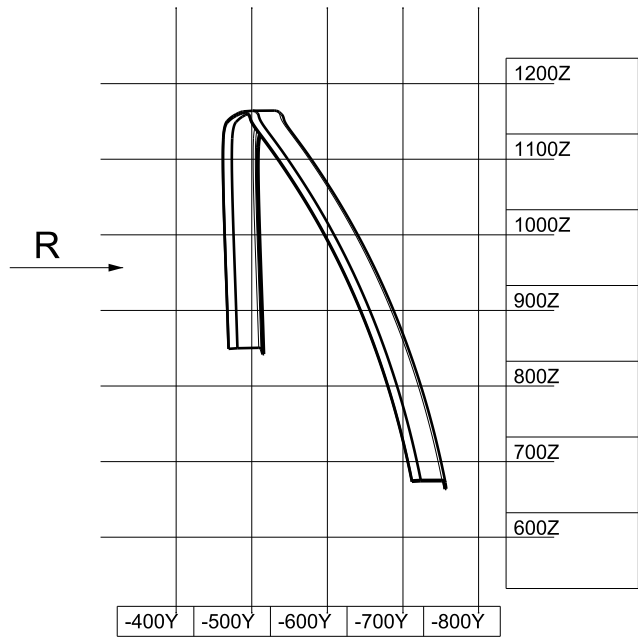
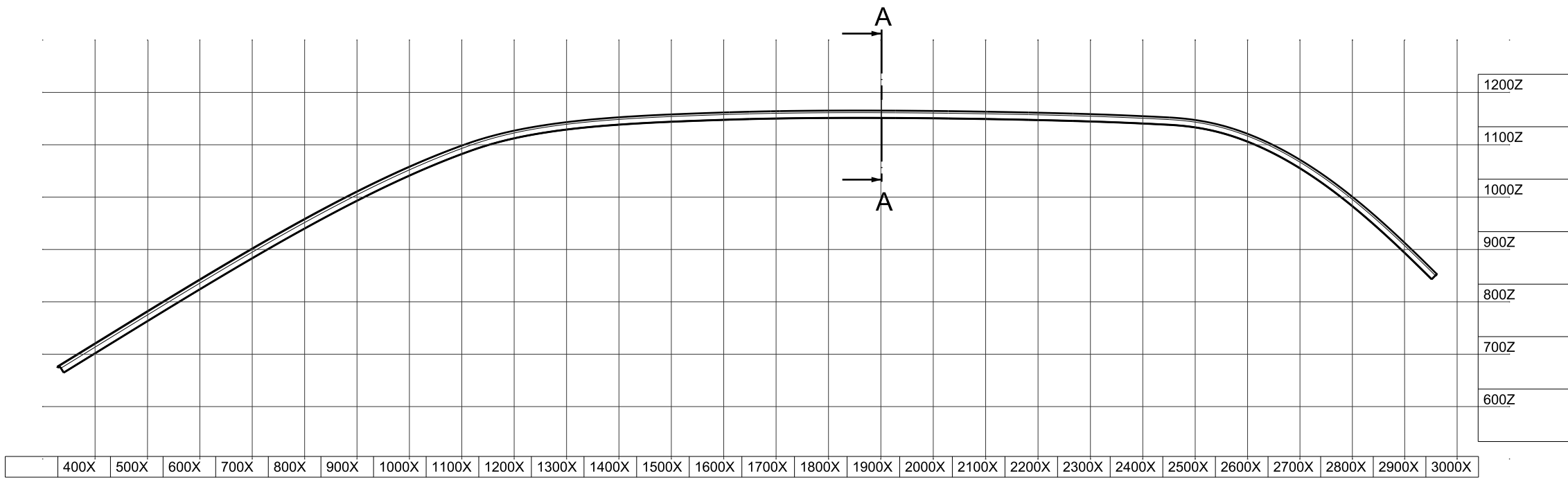


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní

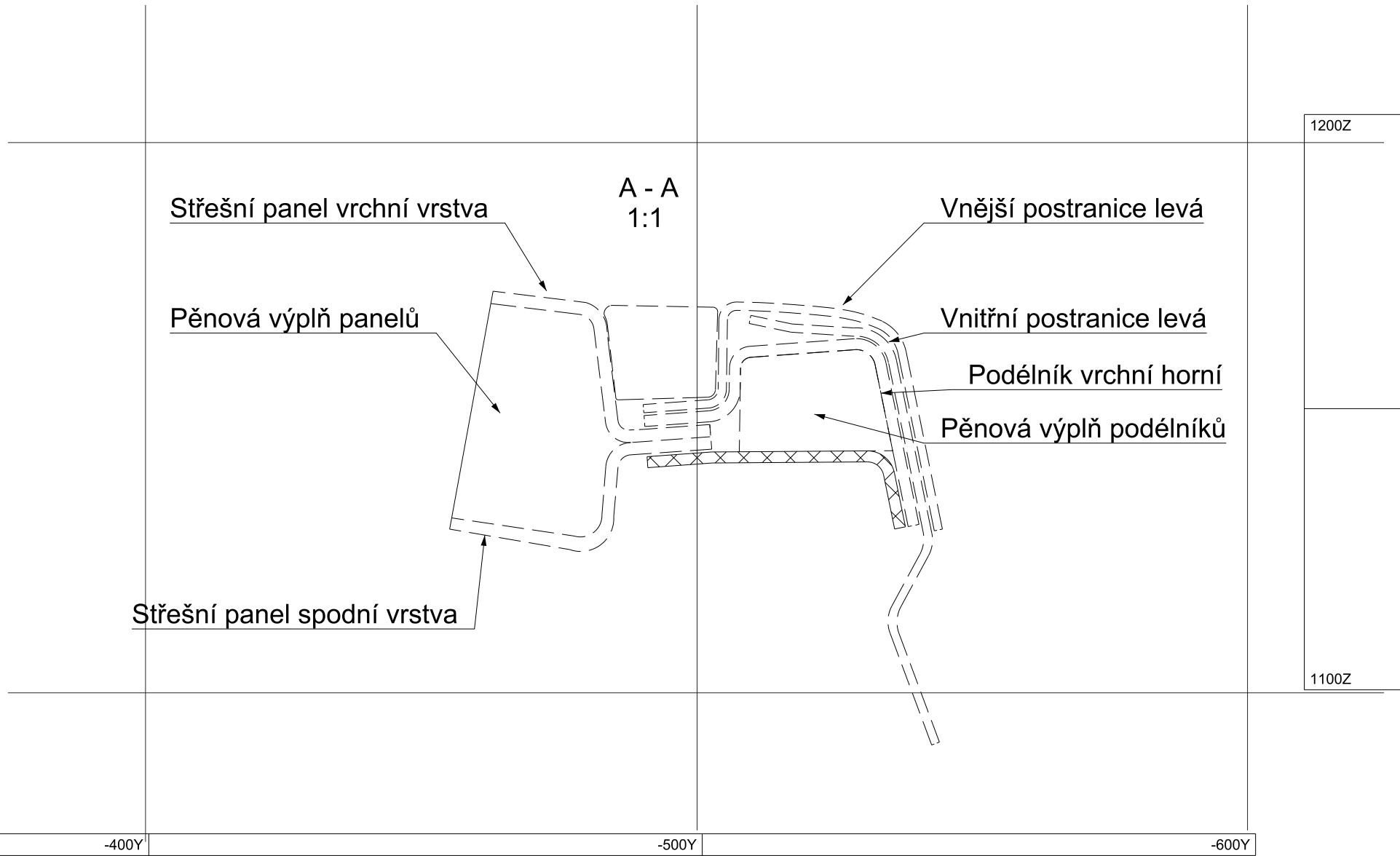
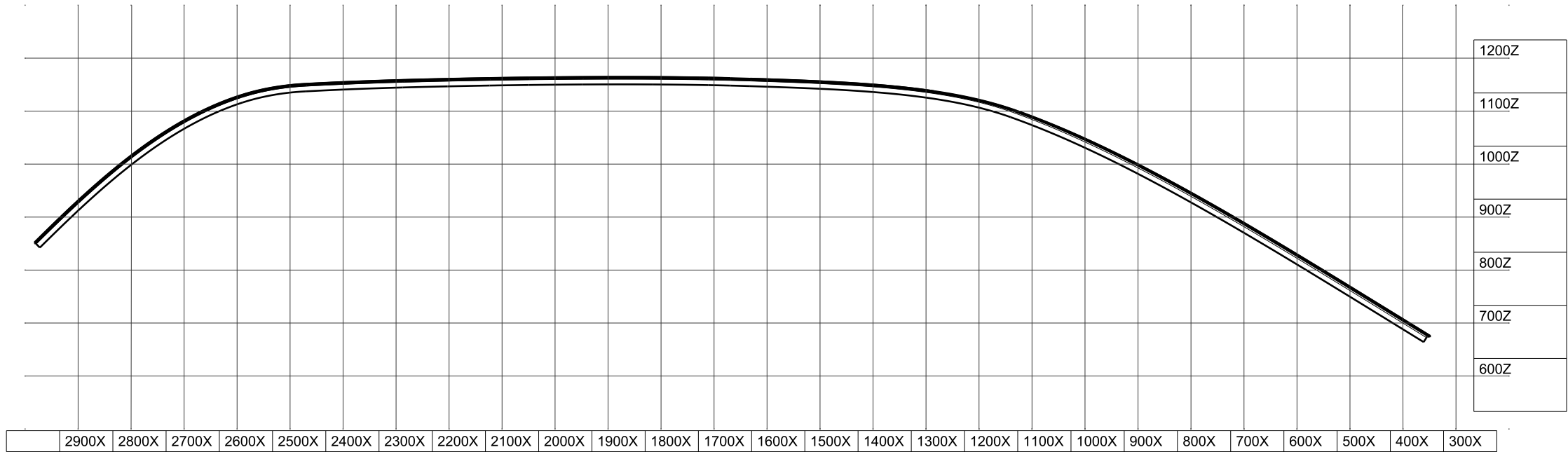
KRESLIL		NÁZEV		
JAROSLAV PEČA		KONSTRUKCE STŘECHY - ROZPAD DÍLŮ		
DATUM		FORM.	ČÍSLO SESTAVY	
15. 5. 2017		A2	DP 2017 001	
		MĚŘÍTKO 1:10	HMOTNOST (kg)	17,515
			LIST	1/4



 TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI Fakulta strojní			
KRESLIL	NÁZEV		
JAROSLAV PEČA	PODÉLNÍK VRCHNÍ LEVÝ		
DATUM	FORM.	ČÍSLO SESTAVY	
15. 5. 2017	A2	DP 2017 002	
		MĚŘÍTKO 1:10 (1:1)	HMOTNOST (kg) 0,663
		LIST	2/4

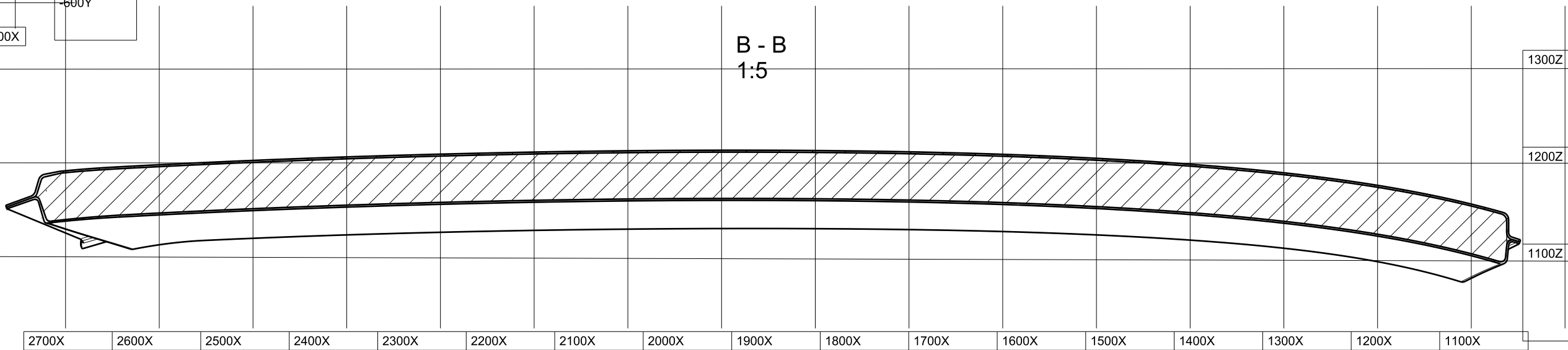
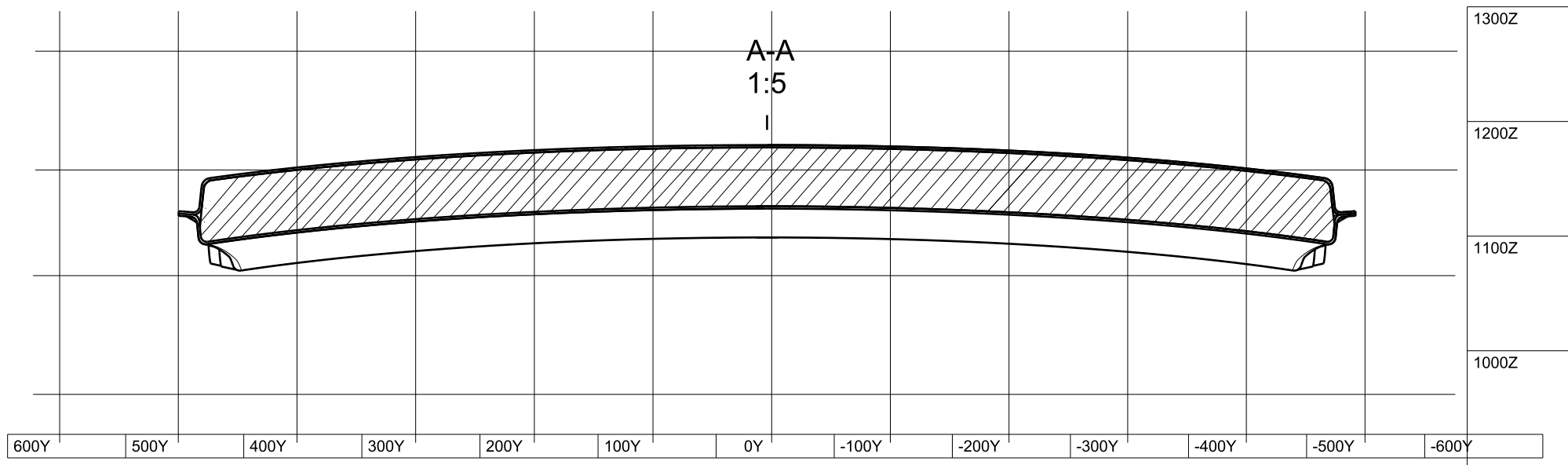
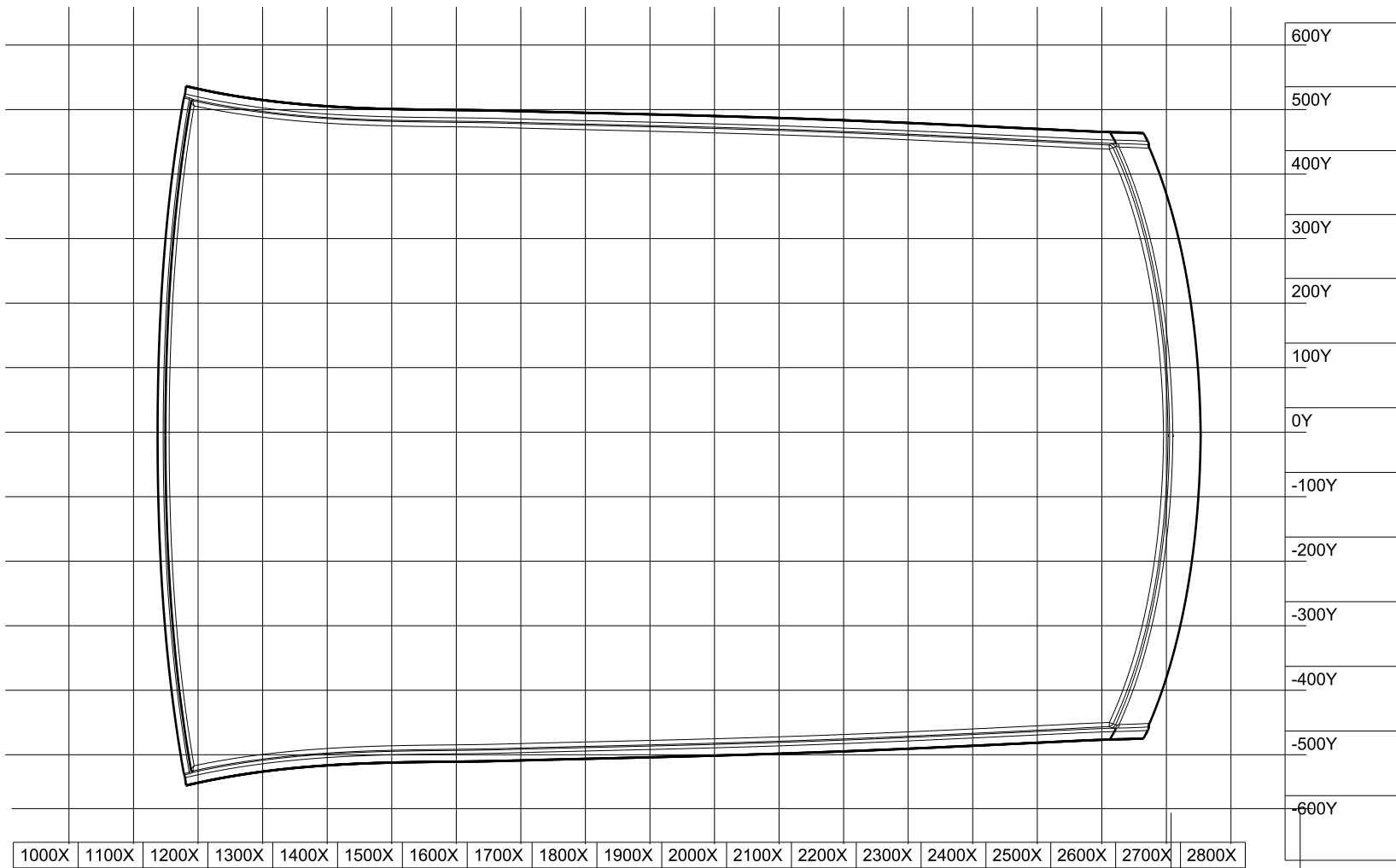
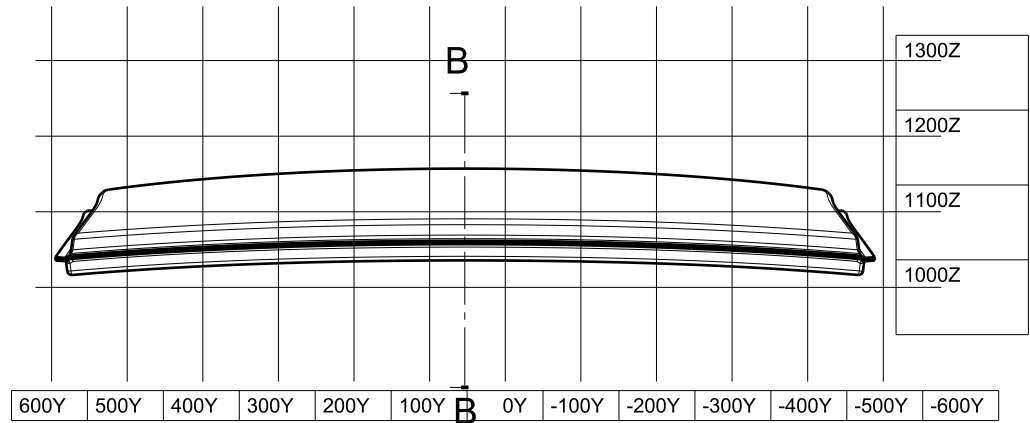
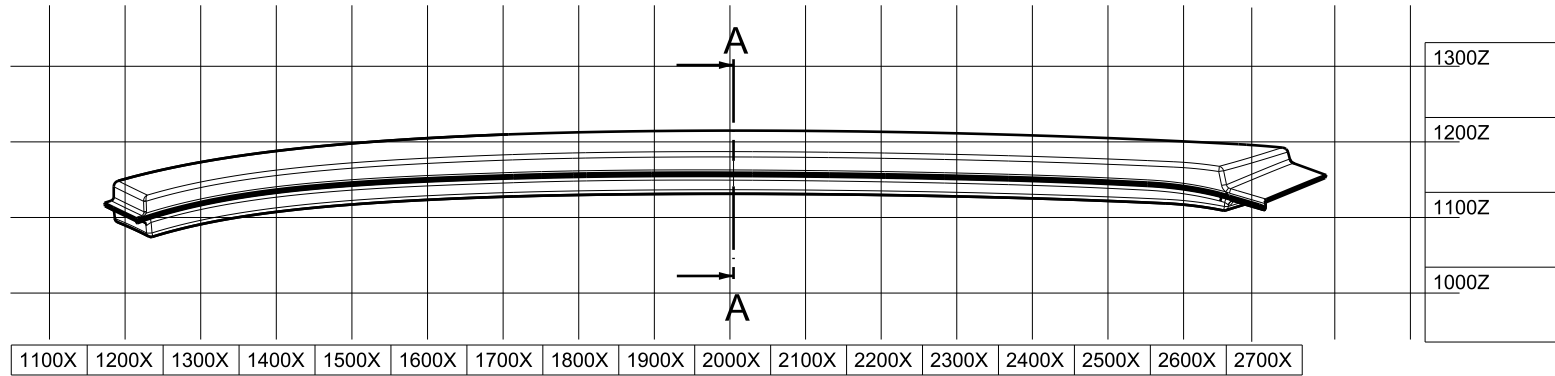


Pohled R



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní

KRESLIL	NÁZEV			
JAROSLAV PEČA	PODÉLNÍK SPODNÍ LEVÝ			
DATUM	FORM.	ČÍSLO SESTAVY		
15. 5. 2017	A2	DP 2017 003		
MĚŘÍTKO 1:10 (1:1)		HMOTNOST (kg)	0,441	LIST 2/4



 TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI Fakulta strojní			
KRESLIL JAROSLAV PEČA	NÁZEV STŘEŠNÍ PANEL		
DATUM 15. 5. 2017	FORM. A2	ČÍSLO SESTAVY DP 2017 004	
	MĚŘÍTKO 1:10	HMOTNOST (kg) 15,141	LIST 4/4